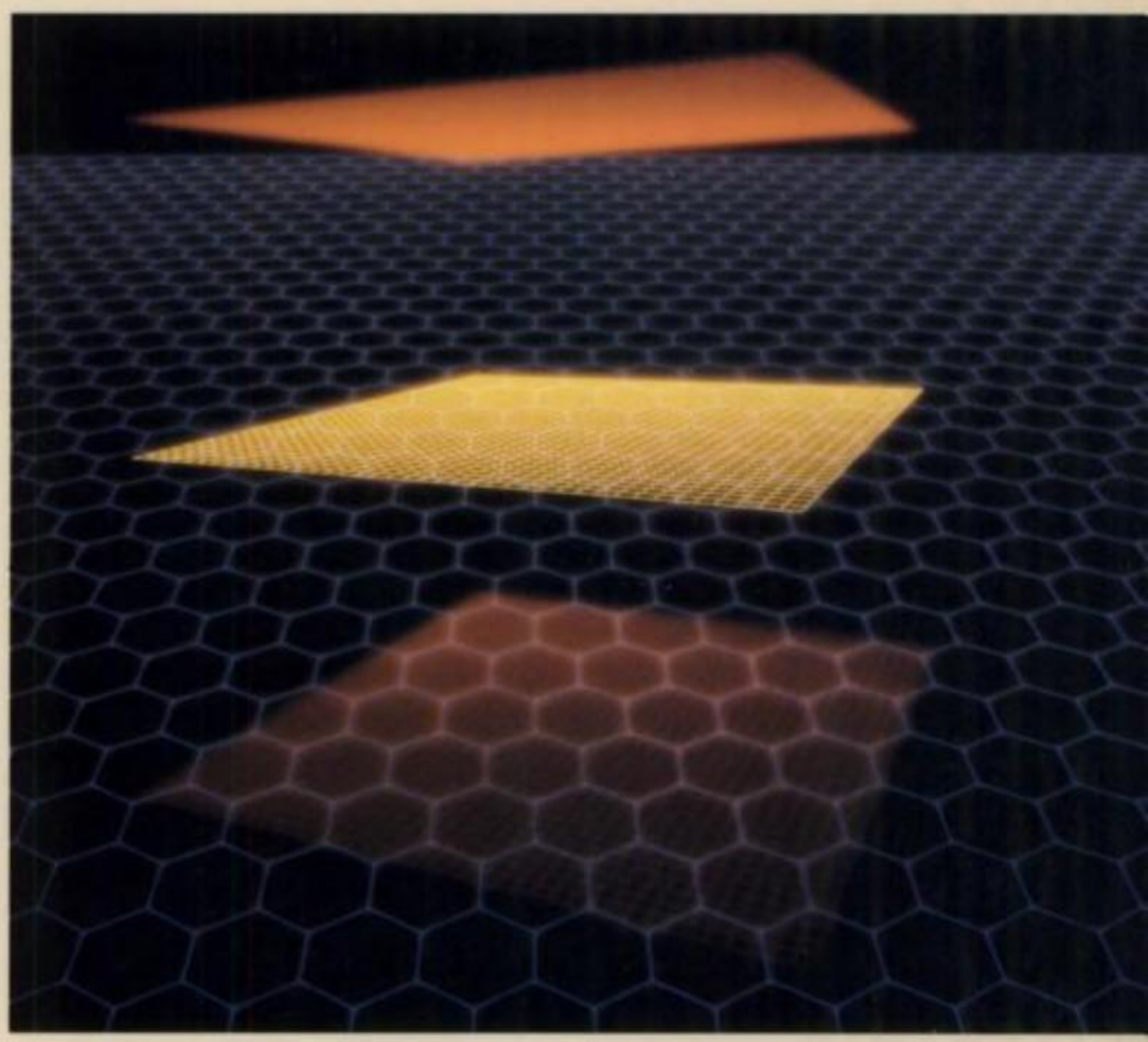
48

Localización, distribución en planta y manutención

Josep M. Vallhonrat
y Albert Corominas

Localización de sistemas productivos: localización de una o varias instalaciones. Modelos para el cálculo y optimización de los costes de transporte. Localización de plantas, almacenes y servicios. Distribución en planta. Diseño de distribuciones en planta. Movimiento de materiales. Utilización de ordenadores. Consideraciones adicionales sobre la distribución en planta en almacenes, oficinas y servicios. Manutención o movimiento de materiales. Vehículos de transporte manual y motorizados. Carretillas elevadoras. Vehículos autoguiados. Aparatos de transporte continuo. Almacenes. Análisis del movimiento de materiales. Estudio de una propuesta de instalación.



PRODUCTICA

Copyrighted material

Localización, distribución en planta y manutención

Josep M. Vallhonrat
y Albert Corominas

marcombo
BOIXAREU EDITORES

PRODUCTICA

www.mundoindustrial.net

Colección «Productica»
Dirección técnica: José Mompín Poblet

© MARCOMBO, S.A., 1991
Reservados todos los derechos
de publicación, reproducción, préstamo,
alquiler o cualquier otra forma de cesión del
uso de este ejemplar en cualquier idioma por
MARCOMBO, S.A.
Gran Via de les Corts Catalanes, 594
08007 Barcelona (España)

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del "Copyright", bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos, así como la exportación e importación de esos ejemplares para su distribución en venta, fuera del ámbito de la Comunidad Económica Europea.

ISBN: 84-267-0814-5
Depósito Legal: B. 11.415-1991
Impreso en España
Printed in Spain
Fotocomposición: FOINSA - Gran Via de les Corts Catalanes, 569 - 08011 Barcelona
Impresión: Vanguard Gràfic, S.A. - Joan Miró, 17-19 - 08930 Sant Adrià de Besòs (Barcelona)

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

Presentación

Uno de los problemas básicos en el diseño de sistemas productivos es el que corresponde a los aspectos físicos y geográficos del continente del sistema: su localización, su distribución en planta y, consecuentemente, los dispositivos necesarios para que el fluir de los materiales se efectúe en las mejores condiciones de eficacia y eficiencia, los elementos de manutención.

Dichos problemas poseen, en general, como muchos problemas de diseño, una característica que complica su resolución: la eficiencia de las diferentes soluciones posibles no puede medirse respecto a un único criterio, cuantificable, sino que existen múltiples criterios, algunos cuantitativos pero otros claramente cualitativos, por lo que la selección de la solución definitiva suele precisar un análisis multicriterio de aquellas soluciones retenidas por presentar características no dominadas respecto a las demás.

Esto no significa que deban despreciarse los aspectos cuantitativos, sino todo lo contrario: significa que dichos aspectos deben completarse con los cualitativos, cuya agregación, cuando se realiza formal y explícitamente, conduce a resultados tan sólidos como la optimización en contexto puramente cuantitativo (siempre recordaremos, como ejemplo de agregación poco refinada, la localización de un centro productivo en el que el criterio dominante fue la cercanía a un club de golf, deporte favorito del presidente de la empresa).

La distribución en planta, en la era de los ordenadores personales, es un aspecto que admite el soporte y la ayuda de los mismos, para llegar a una primera solución que tenga en cuenta todos los aspectos. ALDEP, CORELAP y CRAFT son ejemplos, con algunos años ya, de lo que estamos diciendo, que indican el camino a seguir.

La manutención es un problema con dos vertientes: la técnica y la económica; una solución aceptable tiene que tomar en consideración ambas, lo que exige en su tratamiento la amalgama de ambos tipos de conocimiento.

El presente libro trata de estos problemas, describe sus tipologías e indica los enfoques para resolverlos. Sus autores son ingenieros que aúnan a sus conocimientos técnicos, preocupaciones gestionales y económicas que les han permitido dar el enfoque adecuado. Creo que los lectores encontrarán la base para enfocar correctamente la búsqueda de la solución en sus propias situaciones.

Ramón Companys Pascual
Catedrático de la UPC

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

Índice general

INTRODUCCIÓN 9

LOCALIZACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS 11

Introducción 11
Concepto: la localización en el diseño del sistema productivo 11
Clasificaciones 12
Localización de una instalación 13
Algunos ejemplos: coincidencias y disparidades 13
Modelos para el cálculo y optimización de los costes de transporte 15
Localización de plantas y almacenes 26
Localización de servicios 32
Localización de diversas instalaciones 35
Problemas de asignación 35
Problema de asignación generalizado 37
Asignación cuadrática 42
Cubrimiento 45

DISTRIBUCIÓN EN PLANTA 49

Introducción 49
Concepto. Puntos de contacto y diferencias entre las decisiones de localización y las de distribución 49
Algunas clasificaciones de los problemas de distribución en planta 49
Un método para el diseño de distribuciones en planta 51
Descripción general 51
Recogida y análisis de información sobre el volumen de producción 54
Movimiento de materiales 56
Relaciones entre actividades 75
Diagrama de relación de actividades 77
Necesidades y disponibilidad de espacios 78
Diagrama de relación de espacios 82
Desarrollo, presentación y elección de soluciones 83
Utilización de ordenadores 87
Algoritmos de mejora 88
Algoritmos constructivos 90
Comentarios finales sobre los programas de ordenador para el diseño de distribuciones en planta 91
Consideraciones adicionales sobre la distribución en planta en almacenes, oficinas y servicios 92

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

Almacenes 92
Oficinas 93
Servicios 94
MANUTENCIÓN O MOVIMIENTO DE MATERIALES 99
Introducción 99
Unidad de carga 100
Paleta 101
Plataformas 102
Cestones 102
Contenedores 106
Vehículos de transporte manual 107
Transpaletas 107
Vehículos de transporte motorizados 110
Transpaletas eléctricas 111
Transplataformas eléctricas 111
Carretillas elevadoras 112
Carretillas contrapesadas 114
Elementos de una carretilla elevadora 115
Accesorios para carretillas elevadoras 130
Accesorios mecánicos 131
Accesorios hidráulicos 131
Vehículos autoguiados 138
Control 140
Flexibilidad 140
Instalación 140
Vehículos 141
Aparatos de transporte continuo 142
Cintas transportadoras 142
Transportadores por gravedad 146
Transportadores de cadena 148
Transportadores suspendidos 149
Polipastos y puentes grúa 150
Transporte neumático 152
Almacenes 155
Distintos tipos de almacenaje 156
Almacenes mecanizados 156
Tipos de estanterías 157
Análisis del movimiento de los materiales 161
Estudio de una instalación existente 161
Estudio de una propuesta de instalación 163
BIBLIOGRAFÍA 164

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

Introducción

El diseño de sistemas productivos es un proceso complejo que implica conocimientos económicos, técnicos y de gestión.

Dos aspectos importantes de este proceso de diseño son las decisiones de localización y de distribución en planta.

Las primeras pueden tener muy diversa envergadura, según cuál sea el elemento que se trate de localizar, pero si éste es una planta de producción o un almacén de distribución, su localización tiene importantes implicaciones en la estrategia de la empresa. En particular, hay una relación de interdependencia entre la localización y la viabilidad de las alternativas tecnológicas.

En una decisión de localización, los costes de transporte siempre juegan un papel más o menos importante, y han de ser evaluados, pero nunca, salvo en la localización de elementos poco importantes, son el único criterio a tener en cuenta. La localización es un problema multicriterio en que la formalización puede y debe servir de ayuda pero no elimina la responsabilidad que corresponde a los decisores.

Aunque la distribución en planta es en el fondo un problema de localización múltiple, el número de elementos a localizar, su interacción múltiple, el número de elementos a localizar, su interacción y la variedad de puntos de vista que deben ser tenidos en cuenta (desde el estético al económico o desde la seguridad hasta la imagen comercial de la empresa) le dan carácter específico y, en general, gran dificultad.

El método no hace innecesaria la experiencia pero permite adquirirla con mayor facilidad y en menos tiempo y la suple en parte. De ahí la importancia de seguir un método para el estudio de distribuciones en planta y de disponer en cada una de sus etapas de instrumentos y técnicas para aplicarlo. Hoy en día, los ordenadores son, singularmente, uno de estos instrumentos, pero en el futuro han de prestar, sin duda, aún mayor contribución a los estudios de distribución en planta.

Los métodos y técnicas para llevarlos a cabo se desarrollaron inicialmente en torno a los procesos de transformación y montaje, pero son aplicables a otros tipos de sistemas productivos sin perder de vista su peculiaridad que ha de ser objeto de consideraciones específicas.

En la distribución en planta los flujos de materiales o de personas juegan un papel muy importante. De ahí la estrecha relación del planteamiento de la distribución con la selección de los medios para materializar tales flujos, con la manutención.

A la manutención corresponde siempre una parte considerable de la

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

inversión en una planta industrial o en un almacén y de sus costes de funcionamiento. Los errores en este terreno, por consiguiente, pueden pagarse muy caros. Conviene por ello conocer la variedad de equipos disponibles, su campo de aplicación y sus costes con el fin de tomar la decisión más rentable en cada caso.

El contenido del texto responde a estas consideraciones y, de acuerdo con ellas, consta de tres capítulos dedicados, respectivamente a localización, distribución en planta y manutención. Las referencias bibliográficas incluidas al final del libro permitirán profundizar algunos aspectos cuando el lector lo considere necesario.

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

Localización de sistemas productivos

INTRODUCCIÓN

Concepto: la localización en el diseño del sistema productivo

Una de las decisiones clave en el proceso de diseño de un sistema productivo es su localización: ¿cuál es el mejor emplazamiento para el sistema?

Pese a su brevedad, ésta es una pregunta compleja que requiere algunos comentarios.

En primer lugar, en cada caso habrá de especificarse qué se entiende por *mejor*. Este es uno de los aspectos más importantes y difíciles en una decisión de localización; los criterios son distintos según el tipo de sistema productivo (no son los mismos para un hospital psiquiátrico que para un establecimiento de comidas rápidas, para citar dos ejemplos bien dispares), pero también varían de unas empresas a otras. Más lo que introduce mayores dificultades es el hecho de que una misma empresa deba tener en cuenta más de un criterio en el momento de tomar la decisión de localización. Se deberá examinar, pues, qué criterios son pertinentes y de qué forma se pueden agregar para comparar las diversas opciones.

En segundo lugar, la localización se puede definir con mayor o menor precisión. Puede ser un país, una región, una localidad, un polígono industrial o un solar. Ello implica, por una parte, que se ha de precisar el nivel a que se desea tomar la decisión; por otra, que, normalmente, la decisión de localizar es una decisión secuencial y jerarquizada, en el sentido de que se va concretando sucesivamente a una escala cada vez menor.

Además, el sistema productivo puede constar, desde el punto de vista de la localización, de una o de diversas instalaciones, lo que supone que, en general, la decisión de localizar es compleja por cuanto no basta en general con elegir un solo emplazamiento sino varios (uno para cada una de las instalaciones que sean relativamente independientes en lo que respecta a la localización del sistema productivo). De hecho, es previa a la decisión de localización la determinación de la estructura básica del sistema productivo entendido como sistema de aprovisionamiento-producción-distribución (lo que se da en llamar, de un tiempo a esta parte, sistema logístico): producción centralizada o descentralizada, tipos y funciones de los almacenes, etc.

Por otra parte: ¿qué relación tiene la decisión de localización con las

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

otras decisiones que contribuyen al diseño del sistema productivo y, por consiguiente, qué lugar ocupa en el proceso de diseño? Esta relación puede ser más o menos compleja, según la escala que se considere para la decisión de localización; en cualquier caso se ha de desechar la visión simplista según la cual hay que elegir primero la configuración básica del sistema productivo y determinar después su localización, porque ésta tiene repercusiones sobre la factibilidad de unas u otras alternativas y sobre su coste, por cuanto del emplazamiento dependen la disponibilidad y el coste de los recursos productivos. A cierta escala, la decisión de localización es una decisión estratégica para la empresa.

Clasificaciones

Puesto que de un problema complejo se trata, admite clasificaciones diversas, según el punto de vista que se adopte (Figura 1).

Figura 1. Los problemas de localización pueden clasificarse desde diversos puntos de vista, según el tipo de aplicación o las características técnicas que presentan.

Clasificaciones de los problemas de localización

Manufactura / Servicios

Espacio continuo / Discreto

Una / Múltiples instalaciones

Sin / Con interacción

Según la estructura de las comunicaciones:

Distancia rectangular / Euclídea / ...

Así, en relación a la aplicación , cabe distinguir entre la localización de empresas manufactureras o de servicios, cuestión que se examina más adelante. Desde el punto de vista de la complejidad de los modelos y de las técnicas a utilizar caben, al menos, las siguientes clasificaciones:

a) Problemas en espacio continuo o discreto.

En el primer caso, el conjunto de soluciones no se puede enumerar. En el segundo, supuesto que el espacio está acotado (lo que en la práctica no es un supuesto restrictivo), el conjunto de soluciones es finito.

De hecho, la consideración de un espacio como continuo o como discreto es muchas veces convencional (se ha de tener en cuenta la información disponible, las técnicas utilizables y la precisión requerida).

b) Problemas de localización de una instalación o de diversas instalaciones.

Los primeros, desde luego, admiten tratamientos mucho más sencillos.

La localización de una sóla instalación en un espacio discreto es un problema que se reduce a la evaluación y comparación de los posibles emplazamientos (cuyo número, recuérdese, es finito en este caso).

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

En el otro extremo, el tratamiento de los problemas de localización de múltiples instalaciones en un espacio continuo suele revestir gran complejidad matemática.

c) Problemas en que las instalaciones a localizar se relacionan sólo con instalaciones preexistentes y problemas en que hay una relación entre las propias instalaciones a localizar (brevemente: problemas sin o con interacción entre las instalaciones a localizar).

Los problemas con interacción son de más difícil tratamiento, como se comprende fácilmente. Si a un problema sin interacción le corresponde un modelo lineal, la interacción exigirá la utilización de un modelo cuadrático.

A estas tres clasificaciones se puede añadir la que resulta de atender a la estructura de las comunicaciones entre los puntos del espacio que se considere y las relaciones entre la distancia y los costes de las comunicaciones. Habitualmente se conviene en que los costes son proporcionales a la distancia y se adopta para el cálculo de la distancia la expresión adecuada para que este supuesto se cumpla, con lo cual, en definitiva, la estructura de las comunicaciones y la relación entre la distancia y el coste se engloban en un concepto único que se denomina tipo de distancia. Así, si se dice que la distancia es la euclídea al cuadrado ello significa simplemente que la distancia entre dos puntos es el segmento de recta que los une (distancia euclídea) y que los costes de la comunicación o intercambio son proporcionales al cuadrado de dicha distancia.

En lo que sigue, el texto se ha estructurado, básicamente, a partir de la clasificación en problemas de localización de una instalación o de múltiples instalaciones. Ello no supone que esta clasificación sea más importante o significativa que las demás; simplemente, ha parecido la más adecuada para la claridad expositiva.

LOCALIZACIÓN DE UNA INSTALACIÓN

Algunos ejemplos: coincidencias y disparidades

Se trata de determinar el mejor emplazamiento posible para una instalación que se ha de relacionar con otras instalaciones preexistentes. La naturaleza de la «instalación» puede ser muy variada, como permiten apreciar los numerosos ejemplos de la figura 2.

Los problemas de localización implícitos en dicha figura tienen muchas características comunes. Independientemente de su naturaleza, en todos los casos hay una instalación que se relaciona con otras preexistentes y tal relación tiene un coste que depende de la posición de la nueva instalación relativa a la de las anteriores; por consiguiente, para el cálculo y optimización en su caso de tales costes se podrá utilizar modelos matemáticos con los algoritmos que sean apropiados.

Ahora bien, es evidente que localizar una central eléctrica o un gran parque de atracciones son problemas cualitativamente distintos del de determinar el emplazamiento más adecuado para una cafetera en una

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

oficina. Frente a esta última decisión (de carácter táctico, fácilmente revisable si conviene, con unos costes implicados de escasa consideración), las dos primeras presentan diferencias de gran importancia; se trata de decisiones estratégicas, que una vez adoptadas resulta muy difícil y costoso rectificar, con implicaciones muy considerables en diversos órdenes: económico, ocupacional, social, medioambiental, etc. En decisiones como éstas suelen interesarse las administraciones y círculos varios de la opinión pública; es decir, son decisiones con implicaciones políticas, en un sentido amplio, y no pueden adoptarse con el mismo método que permite determinar el emplazamiento óptimo para la cafetera, por seguir con el ejemplo citado más arriba.

Figura 2. Los ejemplos ponen de manifiesto la diversidad cualitativa y cuantitativa de los problemas de localización.

Algunos ejemplos de problemas de localización de una instalación

- Refinería de petróleo.
- Central eléctrica.
- Gran parque de atracciones.
- Fábrica de motores de automóvil.
- Almacén.
- Centro de ambulancias.
- Biblioteca o aulario en un campus universitario.
- Mercado municipal en el casco urbano.
- Central generadora de vapor en un complejo industrial.
- Centro de mecanizado en un taller.
- Reloj registrador en una nave industrial.
- Depósito de herramientas en un taller.
- Muelle de carga y descarga en un almacén.
- Bomba en una instalación química.
- Componente en un circuito eléctrico.
- Indicador o tecla en un panel de control.
- Máquina expendedora de bebidas en una oficina o taller.
- Fotocopiadora en una biblioteca.
- Teléfono en un domicilio.

Una de las diferencias importantes entre los problemas de localización de carácter estratégico y los que tienen sólo un alcance meramente táctico u operativo es la mayor cantidad y variedad de las soluciones posibles, que obliga a analizar la decisión de un modo jerárquico. Una multinacional que desea determinar el emplazamiento más adecuado para una nueva planta no puede comparar directamente las diversas

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

parcelas disponibles para uso industrial en todo el mundo; en efecto, en un caso como éste se determina primero el país o área geográfica y posteriormente se van tomando decisiones a menor escala.

Más adelante se volverá sobre esta problemática, que no se ha de perder de vista en ningún momento.

De lo dicho se desprende, no obstante, que un aspecto siempre presente en los problemas de localización, con mayor o menor importancia relativa, son los costes de las transacciones (transportes o comunicaciones) entre la nueva instalación y las preexistentes. Este aspecto es el que se analiza a continuación.

Modelos para el cálculo y optimización de los costes de transporte

En cierta porción del espacio existen *n* instalaciones situadas en los puntos *P*(1), *P*(2),....., *P*(*i*),....., *P*(*n*) y se trata de determinar el coste total de transporte en el supuesto de que tales costes son proporcionales, con coeficiente de proporcionalidad (o *peso*) *w*(*i*) a la distancia entre el emplazamiento *X*, que se desea determinar, de la nueva instalación y los *P*(*i*) de las preexistentes. Las dimensiones del coeficiente *w*(*i*) son unidades monetarias por unidad de distancia y su valor ha de tener en cuenta tanto el coste de recorrer una unidad de distancia como el volumen de las transacciones previstas entre la nueva instalación y la situada en *P*(*i*). Si se designa por *d*[*X*,*P*(*i*)] la distancia entre *X* y *P*(*i*), el coste total, *f*(*X*), responde a la siguiente expresión:

$$f(X) = \sum_{i=1}^{n} w(i)\, d[X,P(i)]$$

En principio, el espacio en que se sitúan las instalaciones puede tener una, dos o tres dimensiones, si bien lo más habitual será dos dimensiones. Por supuesto, el caso más sencillo es el unidimensional y su estudio es interesante porque sirve de base, con ciertos tipos de distancia, para el bi o tridimensional.

Problemas de localización unidimensionales

Supóngase que se desea determinar el emplazamiento óptimo, en lo relativo a los costes de transporte, de una planta industrial cuyos clientes se sitúan a lo largo de una vía de comunicación (un río o canal, la costa, una autopista, una vía férrea), tal como en la figura 3. Si los costes son proporcionales a la distancia, el problema es fácil de resolver a partir de las consideraciones siguientes:

Cada posición tiene asociado un coste. Si a partir de una posición dada se pudiera desplazar la planta, ésta se acercaría a un conjunto de clientes y se alejaría, en igual cuantía, del conjunto complementario; el coste mejoraría si el primero de estos conjuntos tiene asociado un peso total superior al segundo. Por consiguiente, suponiendo la planta situada más a la izquierda que el cliente 1, se puede disminuir el coste situándola más a la derecha; este imaginario movimiento deberá interrumpirse en un punto que no deje más de la mitad del peso a su derecha (que tampoco dejará más de la mitad del peso a su izquierda).

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

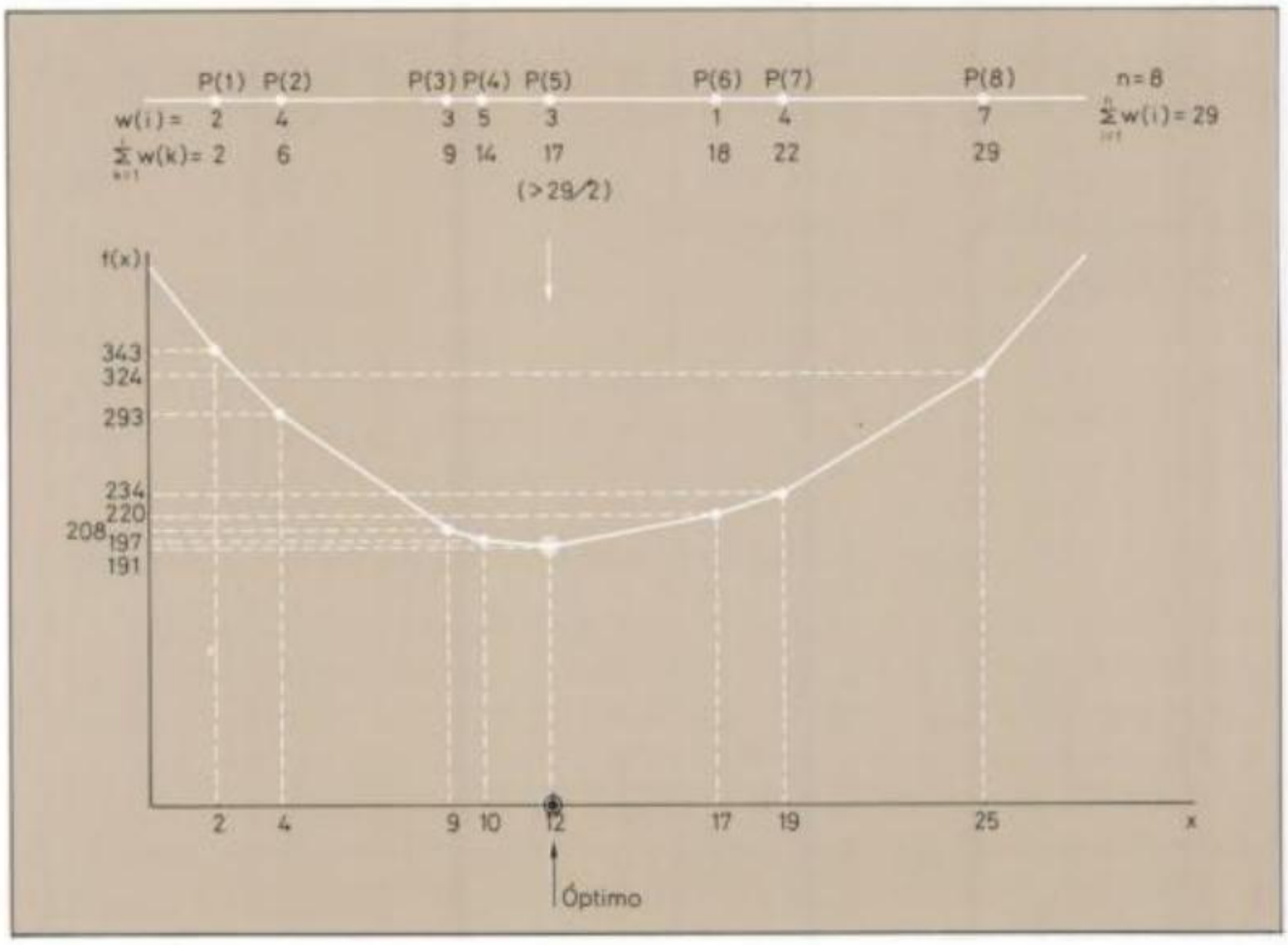


Figura 3. Un ejemplo de problema de localización unidimensional, con costes proporcionales a la distancia (con coeficientes de proporcionalidad, w(i), que se denominan pesos). Es óptimo el punto que no tiene, ni a su derecha ni a su izquierda, más de la mitad del peso total. En este caso el óptimo es único.

En muchos casos, como en el del ejemplo de la figura 3, sólo hay un punto que verifica esta condición (que siempre coincide con la posición de un cliente); en la propia figura 3 puede verse el coste en función de la posición de la planta y el emplazamiento óptimo de la misma.

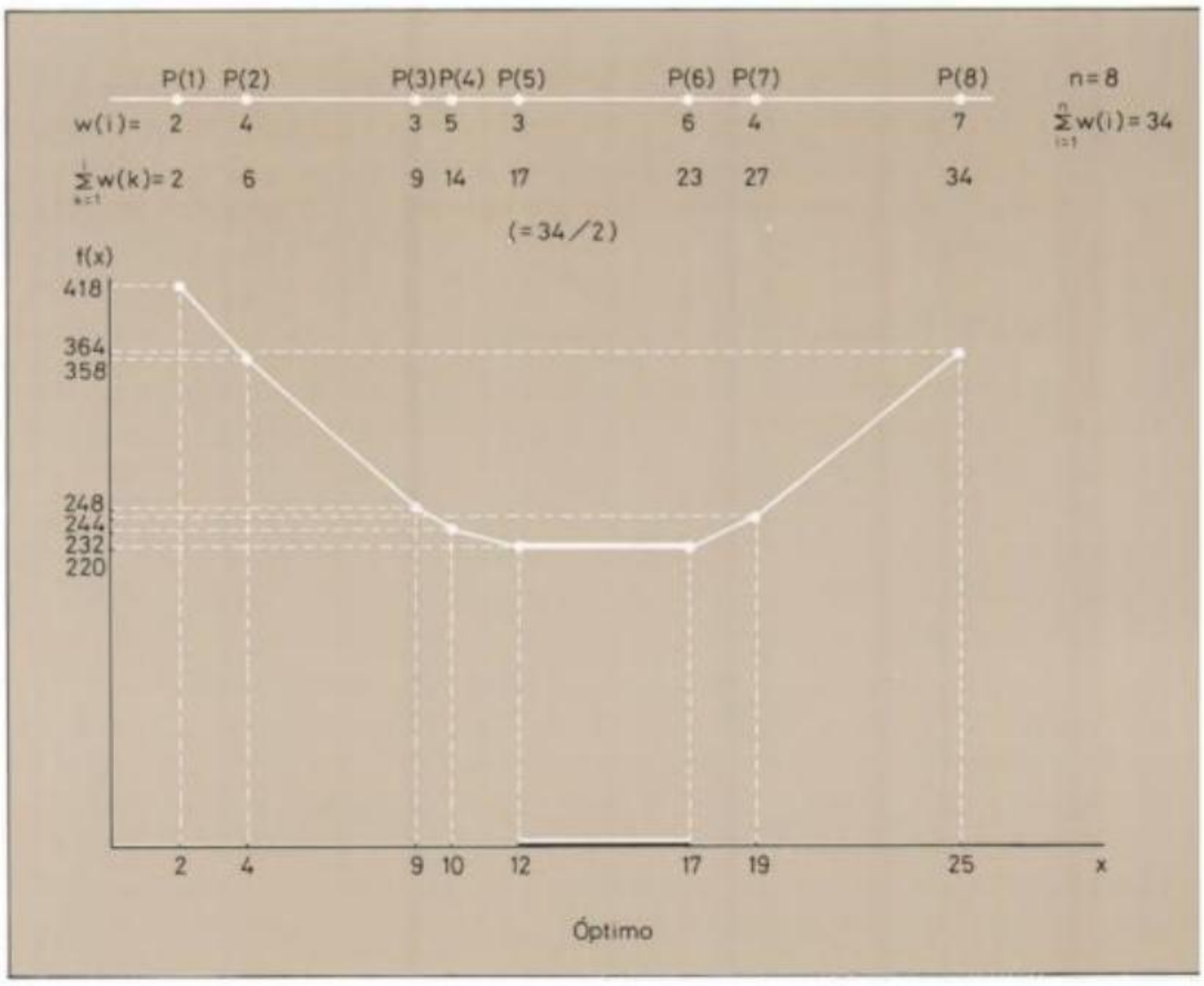


Figura 4. Otro ejemplo de problema de localización unidimensional, con costes proporcionales a la distancia. La posición de los clientes es la misma que en el ejemplo de la figura 3, pero los pesos son distintos. En este caso, el óptimo es múltiple (todos los puntos del segmento señalado en la figura con trazo grueso).

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

En otros, son óptimos todos los puntos de un segmento delimitado por dos clientes, tal como se aprecia en la figura 4, que recoge un ejemplo con la misma estructura que el anterior, pero con unos pesos ligeramente distintos.

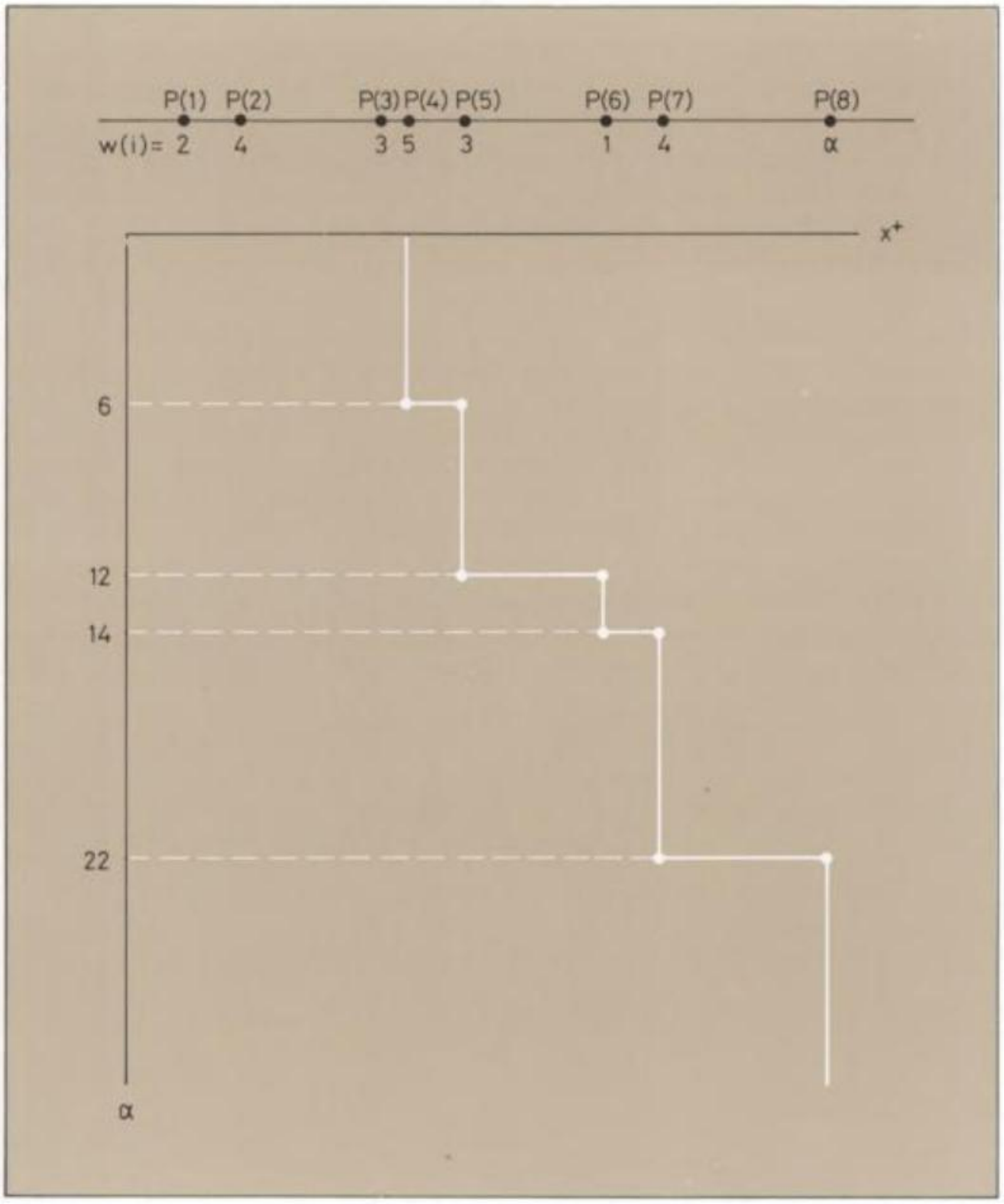


*Figura 5. El gráfico representa la posición del óptimo, en función del peso de uno de los clientes, en el ejemplo presentado en la figura 3. Como puede verse, se trata de una relación discontinua; todos los valores pertenecientes a un cierto intervalo del parámetro **α** comparten un mismo valor óptimo de la abscisa x.*

Si se designa por $a(i)$ la coordenada de $P(i)$ y por x la de la planta, el modelo matemático que se trata de resolver es:

$$[\text{MIN}]\ f(x) = \sum_{i=1}^{n} w(i)\,|x - a(i)|$$

y el algoritmo consiste simplemente en ordenar los clientes (o instalaciones preexistentes) de izquierda a derecha y calcular la suma acumulada de pesos, hasta igualar o superar la semisuma del peso total: el punto correspondiente es óptimo y si el valor acumulado asociado es exactamente

Copyrighted material

igual a la semisuma del total, también los son todos los puntos a su derecha, hasta el ocupado por el próximo cliente inclusive.

Esta conclusión seguramente es poco intuitiva, como lo son algunas de sus implicaciones. Por ejemplo: si se prescinde del caso de óptimo múltiple, la posición óptima siempre coincide con la de una instalación preexistente (en cualquier caso, incluso en el de óptimo múltiple, siempre hay por lo menos un punto con una instalación preexistente que es óptimo). Y también: un cambio en el peso correspondiente a un cliente (manteniéndose los demás constantes) o un cambio en su posición no supone modificación alguna del óptimo, salvo que la magnitud del cambio supere un cierto umbral, en cuyo caso el óptimo se modifica bruscamente (ver figura 5). Probablemente el carácter no intuitivo de las propiedades de este modelo, tan sencillo por otra parte, se debe a que todo el mundo está más acostumbrado a razonar con funciones de derivada continua (obsérvese que la derivada de la función de coste en este modelo presenta discontinuidad precisamente en los puntos, $P(i)$, en que se encuentran las instalaciones existentes).

Véase, en cambio, lo que ocurre si los costes son proporcionales al cuadrado de la distancia (los costes de los daños causados por un incendio, por ejemplo, no crecen linealmente con el tiempo transcurrido desde su inicio hasta que empiezan los trabajos de extinción: una aproximación consiste en considerarlos proporcionales al cuadrado de dicho tiempo y, por consiguiente, al cuadrado de la distancia entre el punto en que se declara el incendio y el centro desde el que acude al mismo el servicio de extinción). En este caso:

$$f(x) = \sum_{i=1}^{n} w(i)\,[x - a(i)]^2$$

Esta función, que expresa el coste, tiene derivada continua:

$$f'(x) = 2 \sum_{i=1}^{n} w(i)\,[x - a(i)]$$

que se anula para:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{n} w(i)a(i)}{\sum_{i=1}^{n} w(i)}$$

valor al que corresponde el coste mínimo (puesto que la segunda derivada es constante y positiva).

Obsérvese, pues, que dicho óptimo es el centro de gravedad de unos pesos $w(i)$ situados en los puntos $P(i)$. El óptimo es único y puede o no coincidir con el emplazamiento de una instalación preexistente; por otra parte, la posición del óptimo es una función continua de las $w(i)$.

Copyrighted material

En la figura 6 se puede ver la aplicación de estas expresiones a los mismos datos de la figura 3.

En un espacio unidimensional también es muy simple un problema cuya versión general es muy difícil de resolver: el de hacer mínima la máxima de las distancias entre la nueva instalación y las ya existentes. Este criterio es adecuado para la localización de determinados servicios de emergencia: se desea que el cliente o usuario más alejado del centro de prestación del servicio se encuentre lo más cerca posible del mismo. En el caso unidimensional, la solución es el punto medio entre los puntos *P*(1) y *P*(*n*) (en el supuesto de que el orden de los subíndices coincide con el de la posición sobre la línea de las instalaciones preexistentes).

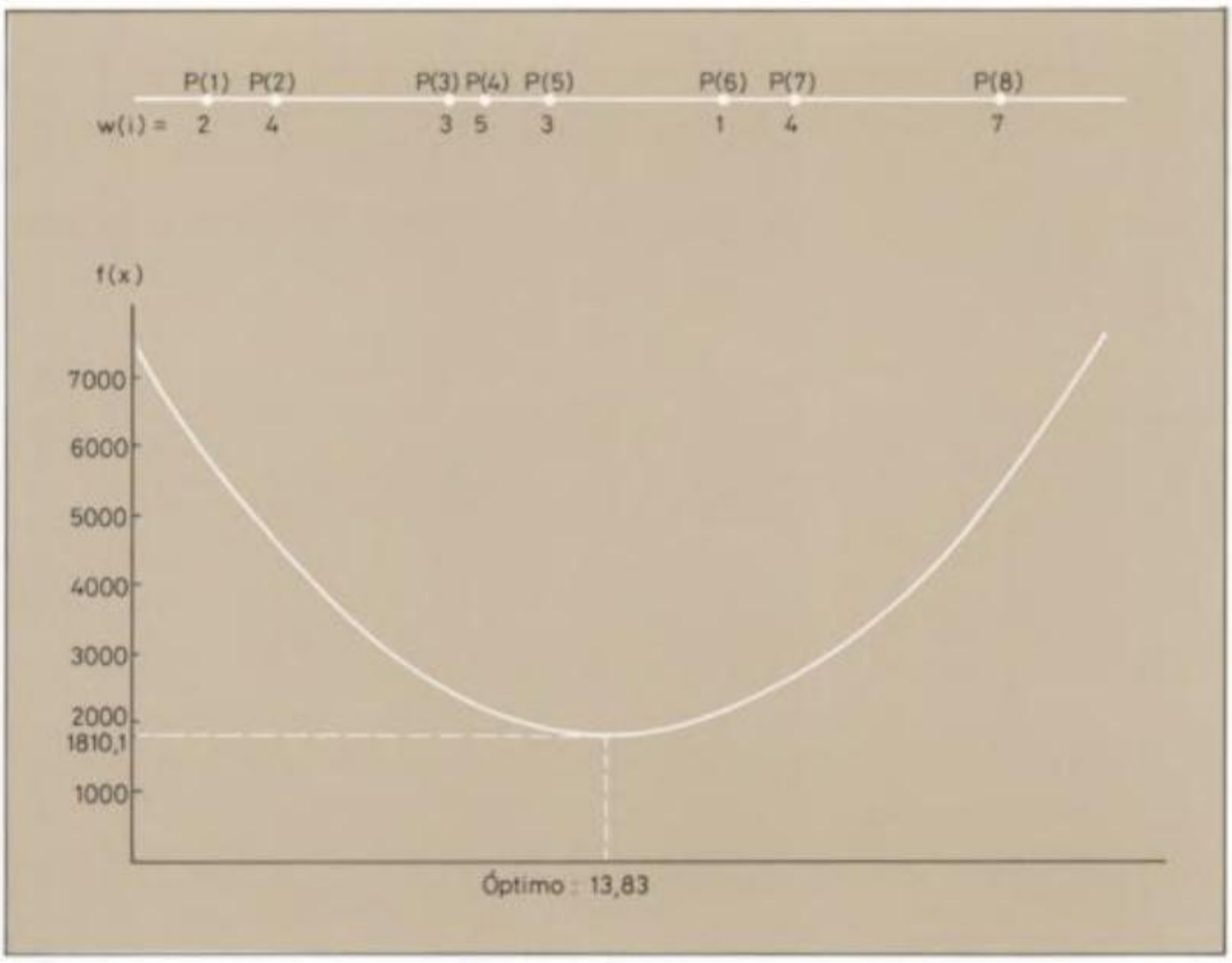


Figura 6. Un ejemplo de localización unidimensional con costes proporcionales al cuadrado de la distancia. Los datos, por otra parte, son los mismos que en el ejemplo de la figura 3; pero la posición del óptimo es distinta, porque no es la misma la relación entre la distancia y los costes. En este caso la solución es el centro de gravedad de los clientes.

Problemas de localización bidimensionales sin restricciones

En un espacio de dos dimensiones el problema admite más variantes, puesto que no sólo importa la relación entre distancia y coste sino también la forma de calcular la distancia entre dos puntos, que depende, en general, de la estructura de la red de comunicaciones.

El procedimiento general para el cálculo de distancias implica, por consiguiente, representar la red de comunicaciones mediante un *grafo* y aplicar un algoritmo adecuado. Este procedimiento puede ser innecesario (porque la red de comunicaciones tenga una estructura especial que facilite los cálculos) o muy costoso (porque la elaboración del grafo es normalmente larga y delicada), en cuyo caso el cálculo exacto se substituye por uno aproximado basado en una red de comunicaciones esquemática.

Copyrighted material

Distancia rectangular

Si las comunicaciones tienen lugar a través de una red de pasillos o calles ortogonales (tal como sucede en muchos almacenes y naves industriales o en ciertas zonas de algunas ciudades), o, más en general, si para situarse en un punto son necesarios dos movimientos ortogonales (piénsese en una grúa puente) el cálculo de la distancia entre dos puntos de coordenadas (x,y), $(a(i), b(i))$ responde a la siguiente expresión:

$$|x-a(i)| + |y-b(i)|$$

(que en algunos casos puede incluir coeficientes para ponderar de forma distinta a ambos términos) y se dice que la distancia es *rectangular* (aunque algunos autores la denominan asimismo distancia *Manhattan*). En este caso, si los pares $[a(i), b(i)]$ son las coordenadas de los puntos $P(i)$, el coste total es:

$$f(X) = \sum_{i=1}^{n} w(i)\,(|x-a(i)| + |y-b(i)|)$$

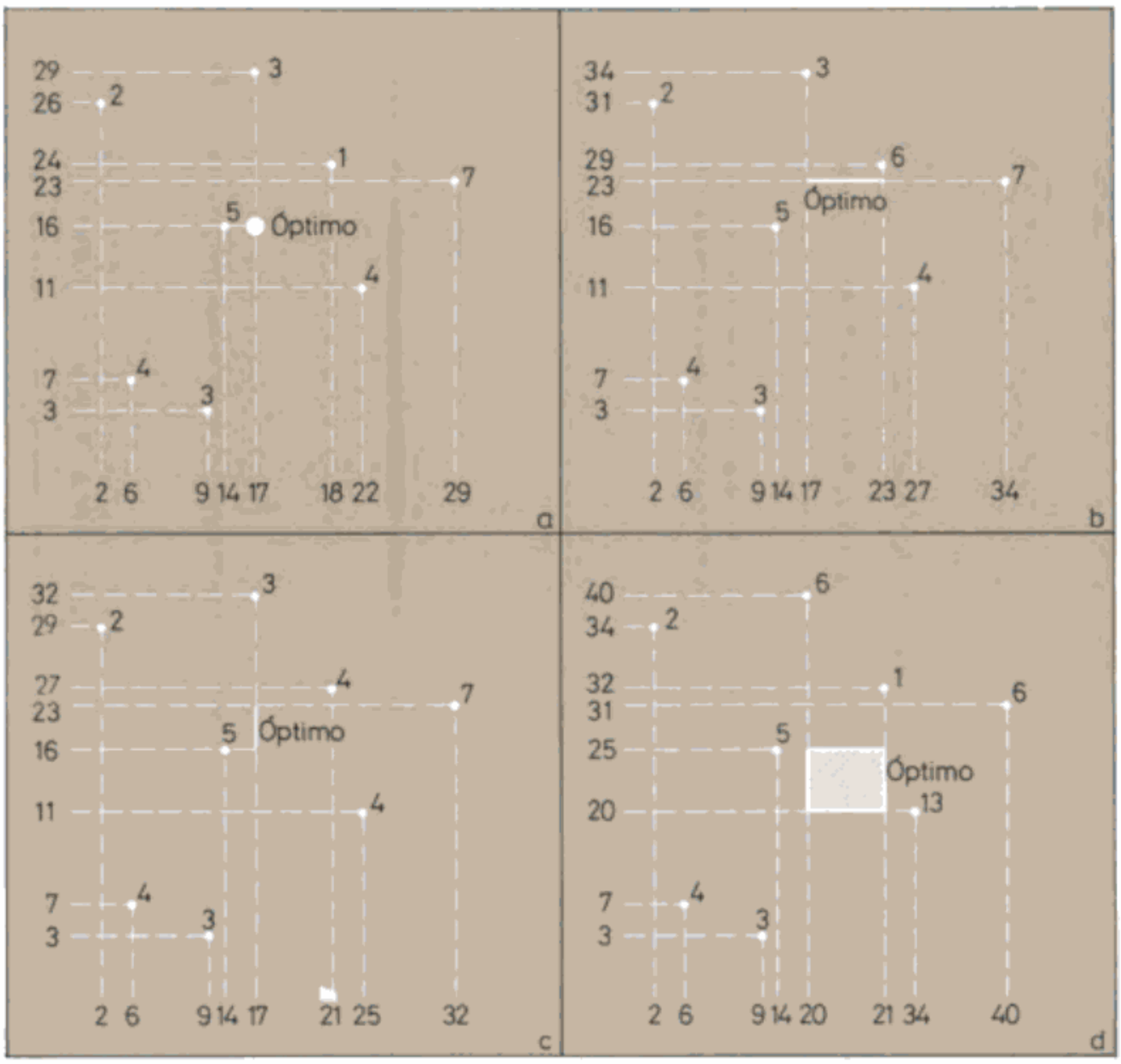


Figura 7. Ejemplos de problemas de localización con distancia rectangular. La posición de los clientes es la misma en los cuatro casos, pero los pesos son distintos. Como ilustran los ejemplos, el óptimo puede ser único o múltiple y, en este último caso, puede consistir en un segmento, horizontal o vertical, o en un rectángulo.

que también se puede poner en la forma:

$$f(X) = \sum_{i=1}^{n} w(i)|x-a(i)| + \sum_{i=1}^{n} w(i)|y-b(i)|$$

Copyrighted material

en la cual es manifiesto que para optimizar *f(X)* hay que optimizar, por una parte, una función que sólo depende de la abscisa x y otra, análoga, que sólo depende de la ordenada *y*; el problema bidimensional con distancia rectangular equivale a dos problemas unidimensionales con costes proporcionales a la distancia, cuya resolución ha sido ya estudiada más arriba. La figura 7 recoge diversos ejemplos de cálculo del emplazamiento óptimo en este caso.

Distancia euclídea al cuadrado

Si el desplazamiento entre dos puntos puede realizarse a lo largo del segmento de recta que los une y los costes son proporcionales al cuadrado de la distancia, la función de coste es:

$$f(X) = \sum_{i=1}^{n} w(i)\ \{[x-a(i)]^2 + [(y-b(i)]^2\}$$

es decir:

$$f(X) = \sum_{i=1}^{n} w(i)[x-a(i)]^2 + \sum_{i=1}^{n} w(i)\ [y-b(i)]^2$$

y por tanto este problema bidimensional equivale a la superposición de dos problemas unidimensionales; el óptimo es el centro de gravedad de unos pesos *w(i)* situados en los puntos *P(i)*.

Distancia euclídea

Pero si la distancia es euclídea y los costes son proporcionales a la distancia:

$$f(X) = \sum_{i=1}^{n} w(i)\ \{[x-a(i)]^2 + [y-b(i)]^2\}^{1/2}$$

que es una función de dos variables no separables.

La búsqueda del óptimo en este caso es un problema aparentemente inofensivo pero que, históricamente, ha sido realmente muy difícil (en parte porque en los puntos *P(i)* no existe la derivada); de hecho, resistió durante más de dos siglos (desde que fue planteado, en un caso particular, por Fermat, en el siglo XVII, hasta el definitivo trabajo de Kuhn, en 1963) y su resolución resulta todavía muy pesada si no se dispone de medios de cálculo automáticos. Las figuras 8,9 y 10 recogen, respectivamente, las expresiones que permiten el cálculo del punto óptimo, un programa en BASIC que realiza dicho cálculo y los resultados obtenidos en sucesivas iteraciones con dicho programa para el ejemplo de la figura 7a, tomando como solución inicial el centro de gravedad (la figura 11 ilustra la posición del óptimo para los tres tipos de distancia considerados).

Las dificultades históricas para resolver el problema por medio del cálculo digital explican el hecho de que se desarrollaran modelos analógi-

Copyrighted material

Figura 8. Expresiones para el cálculo del óptimo en un problema de localización bidimensional con costes proporcionales a la distancia en línea recta entre la instalación y los clientes o problema de Fermat generalizado.

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{m} a_i g_i(x,y)}{\sum_{i=1}^{m} g_i(x,y)} \qquad y = \frac{\sum_{i=1}^{m} b_i g_i(x,y)}{\sum_{i=1}^{m} g_i(x,y)}$$

$$\text{con } g_i(x,y) = \frac{w_i}{\sqrt{(x-a_i)^2 + (y-b_i)^2 + \varepsilon}}$$

($\varepsilon > 0$ y pequeño, para evitar divisiones por cero)

Iteraciones:

$$x^{(k+1)} = \frac{\sum_{i=1}^{m} a_i g_i(x^{(k)}, y^{(k)})}{\sum_{i=1}^{m} g_i(x^{(k)}, y^{(k)})}$$

$$y^{(k+1)} = \frac{\sum_{i=1}^{m} b_i g_i(x^{(k)}, y^{(k)})}{\sum_{i=1}^{m} g_i(x^{(k)}, y^{(k)})}$$

Figura 9. Un programa, basado en las expresiones que aparecen en la figura 8, para resolver el problema de Fermat generalizado.

```
100 'Este programa resuelve el problema de Fermat generalizado:
110 '   Dadas las coordenadas de n puntos y los pesos asociados a los
120 '   mismos, halla el punto para el que es mínima la suma ponderada de distancias.
130 '   da de distancias.
140 ' Se parte del centro de gravedad de los n puntos y se itera has-
150 ' ta que la diferencia, para cada coordenada, entre el último va-
160 ' lor calculado y el anterior no es superior a una tolerancia es-
170 ' pecificada.
180 EPS=1E-10
190 INPUT "NUMERO DE PUNTOS? ",N
200 DIM A(N),B(N),W(N)
210 FOR I=1 TO N
220 PRINT "ABSCISA, ORDENADA Y PESO DEL PUNTO",I;: INPUT A(I),B(I),W(I)
230 NEXT I
240 INPUT "TOLERANCIA? ",ETA
250 FOR I= 1 TO N
260 SAW=SAW+A(I)*W(I): SBW=SBW+B(I)*W(I): SW=SW+W(I)
270 X=SAW/SW: Y=SBW/SW
280 NEXT I
290 PRINT: PRINT "CENTRO DE GRAVEDAD:",X,Y: PRINT
300 NIT=NIT+1:GOSUB 400: NVX=SAG/SG: NVY=SBG/SG:
310 ETAX=ABS(X-NVX): ETAY=ABS(Y-NVY): X=NVX: Y=NVY
320 PRINT NIT,"ABS.",X,"ORD.",Y
330 IF ETAX>ETA  OR  ETAY>ETA GOTO 300
340 FOR I=1 TO N
350 Z=Z+W(I)*SQR((X-A(I))^2+(Y-B(I))^2)
360 NEXT I
370 PRINT: PRINT "SOLUCION:"
380 PRINT "   ABS.";X,"ORD.";Y,"COSTE";Z
390 END
400 SAG=0: SBG=0: SG=0
410 FOR I=1 TO N
420 G=W(I)/SQR((X-A(I))^2+(Y-B(I))^2+EPS)
430 SAG=SAG+A(I)*G: SBG=SBG+B(I)*G: SG=SG+G
440 NEXT I
450 RETURN
```


Copyrighted material

```
RUN
NUMERO DE PUNTOS? 8
ABSCISA, ORDENADA Y PESO DEL PUNTO          1 ? 2,20,2
ABSCISA, ORDENADA Y PESO DEL PUNTO          2 ? 4,2,4
ABSCISA, ORDENADA Y PESO DEL PUNTO          3 ? 9,0,3
ABSCISA, ORDENADA Y PESO DEL PUNTO          4 ? 10,12,5
ABSCISA, ORDENADA Y PESO DEL PUNTO          5 ? 12,22,3
ABSCISA, ORDENADA Y PESO DEL PUNTO          6 ? 17,16,1
ABSCISA, ORDENADA Y PESO DEL PUNTO          7 ? 19,6,4
ABSCISA, ORDENADA Y PESO DEL PUNTO          8 ? 25,15,7
TOLERANCIA? .01

CENTRO DE GRAVEDAD:          13.82759      11.27586

 1          ABS.    13.68045    ORD.    11.40542
 2          ABS.    13.57266    ORD.    11.44748
 3          ABS.    13.495      ORD.    11.46267
 4          ABS.    13.43916    ORD.    11.46929
 5          ABS.    13.39895    ORD.    11.47286
 6          ABS.    13.36984    ORD.    11.47511
 7          ABS.    13.34886    ORD.    11.47666
 8          ABS.    13.33377    ORD.    11.47776
 9          ABS.    13.32275    ORD.    11.47855
 10         ABS.    13.31475    ORD.    11.47913

COLUCION:
   ABS. 13.31475          ORD. 11.47913          COSTE 284.7859
```

Figura 10. Cálculo del óptimo con los datos de la figura 7a y con costes proporcionales a la distancia en línea recta. La figura representa la pantalla del ordenador después de ejecutar el programa de la figura 9: una vez introducidos los datos, el programa calcula el centro de gravedad (óptimo para costes proporcionales al cuadrado de la distancia en línea recta) punto de partida de las iteraciones que permiten aproximarse al óptimo.

cos con este fin. Uno de ellos consiste (ver figura 12) en un tablero horizontal con orificios en posiciones adecuadas para representar el emplazamiento de las instalaciones preexistentes; *n* trozos de cordel se unen en un nudo común, se hace pasar cada uno de ellos por un orificio distinto y se cuelga de cada uno un peso proporcional a *w(i)*: se puede demostrar que, en ausencia de rozamientos, la posición de equilibrio del nudo es la

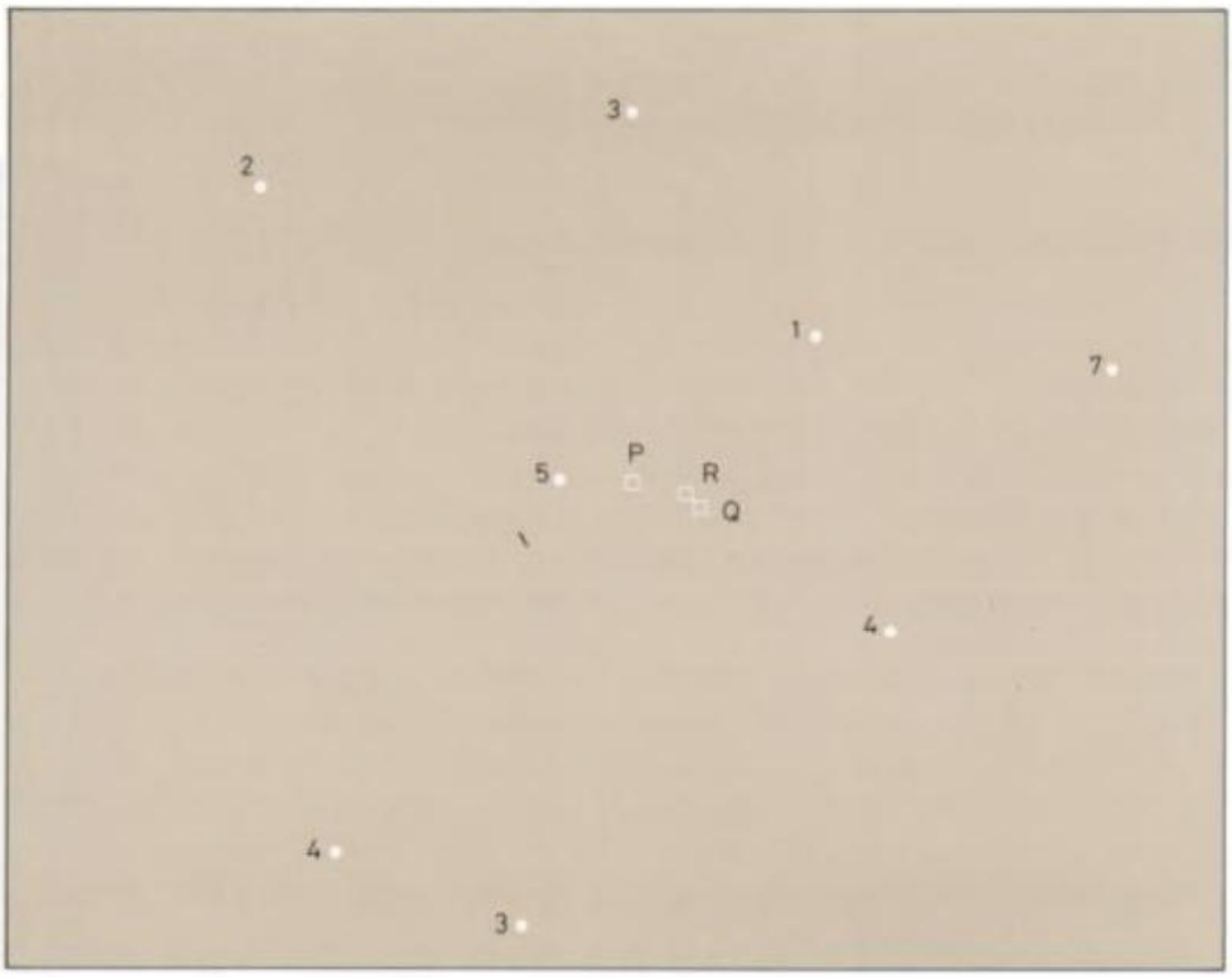


Figura 11. Con los datos de la figura 7a los puntos P, Q y R son óptimos, respectivamente, para costes proporcionales a la distancia rectangular, a la distancia euclídea (o en línea recta) y al cuadrado de la distancia euclídea. En general, y tal como sucede en este ejemplo, la posición de estos tres puntos no coincide e incluso puede ser muy dispar.

Copyrighted material

solución del problema. Este modelo analógico, aparte del interés que pueda tener por otros motivos, permite demostrar fácilmente el denominado teorema de la mayoría: si una instalación preexistente tiene asociado un peso no inferior a la mitad del peso total, la posición de dicha instalación es un emplazamiento óptimo para la nueva; este teorema es otra forma de ver que el centro de gravedad no es la solución óptima, contra lo que una cierta «intuición» parecería indicar.

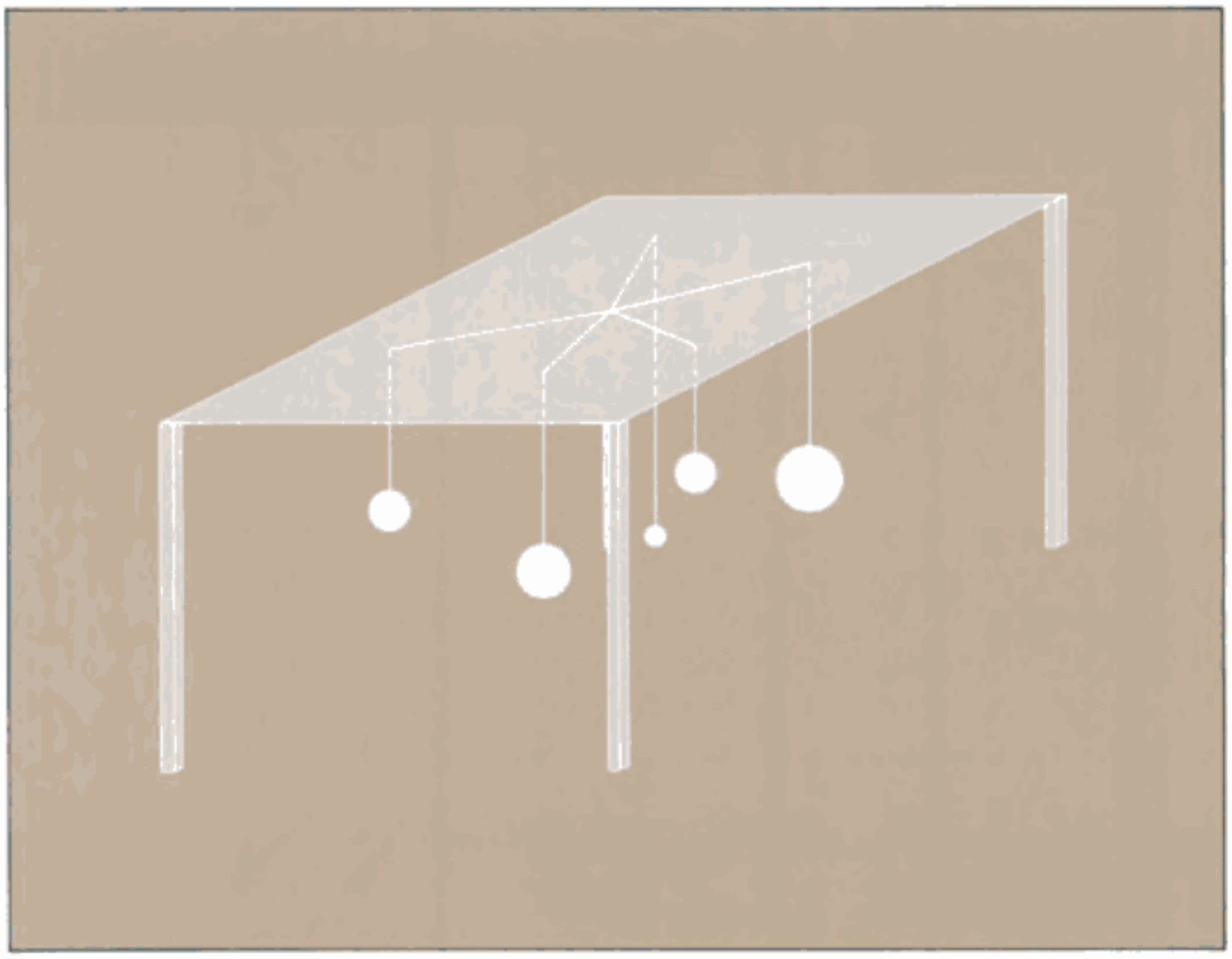


Figura 12. Un dispositivo sencillo (de hecho es un calculador analógico mecánico) para resolver el problema de Fermat generalizado. La posición de los orificios en el tablero horizontal corresponde a la de los clientes y los pesos que cuelgan de los correspondientes trozos de cordel son proporcionales a los coeficientes de proporcionalidad entre la distancia y el coste (denominados asimismo "pesos"): en ausencia de rozamientos, el óptimo corresponde a la posición de equilibrio del nudo que une los trozos de cordel.

Problemas de localización bidimensionales con restricciones

Con mayores o menores dificultades, en todos los casos examinados se puede encontrar un emplazamiento óptimo para la nueva instalación. Pero, ¿qué sucede si el óptimo es un punto no utilizable? (porque no sea del dominio de la empresa, porque esté ya ocupado por otra instalación o por cualquier otro motivo). La resolución analítica se complicaría mucho entonces, salvo en casos particulares y obligaría a utilizar las herramientas de la programación matemática; pero ello no es necesario porque se puede recurrir a representaciones gráficas que no presentan gran dificultad.

Dicho emplazamiento se puede determinar a través del trazado de líneas isocoste, las cuales constituyen una familia con centro en el óptimo no restringido y con valores del coste crecientes a medida que crece el alejamiento a dicho punto o puntos. El óptimo queda determinado por la intersección de la zona de soluciones posibles con la isocoste a que corresponde menor valor entre las que tienen contacto con dicha zona.

Por consiguiente, el problema se reduce al de dibujar las líneas isocoste.

Copyrighted material

Distancia rectangular

En el caso de distancia rectangular las líneas isocoste son polígonos convexos; una vez situados en el gráfico los puntos *P(i)* y trazadas las horizontales y verticales que pasan por estos puntos, el plano queda dividido en parcelas en cada una de las cuales las líneas isocoste tienen pendiente constante; dicha pendiente es igual al cociente, cambiado de signo, entre un numerador igual a la diferencia entre los pesos de la izquierda y los de la derecha y un denominador igual a la diferencia entre los de abajo y los de arriba. Como ejemplo, para los mismos datos de la figura 7a, ver la figura 13.

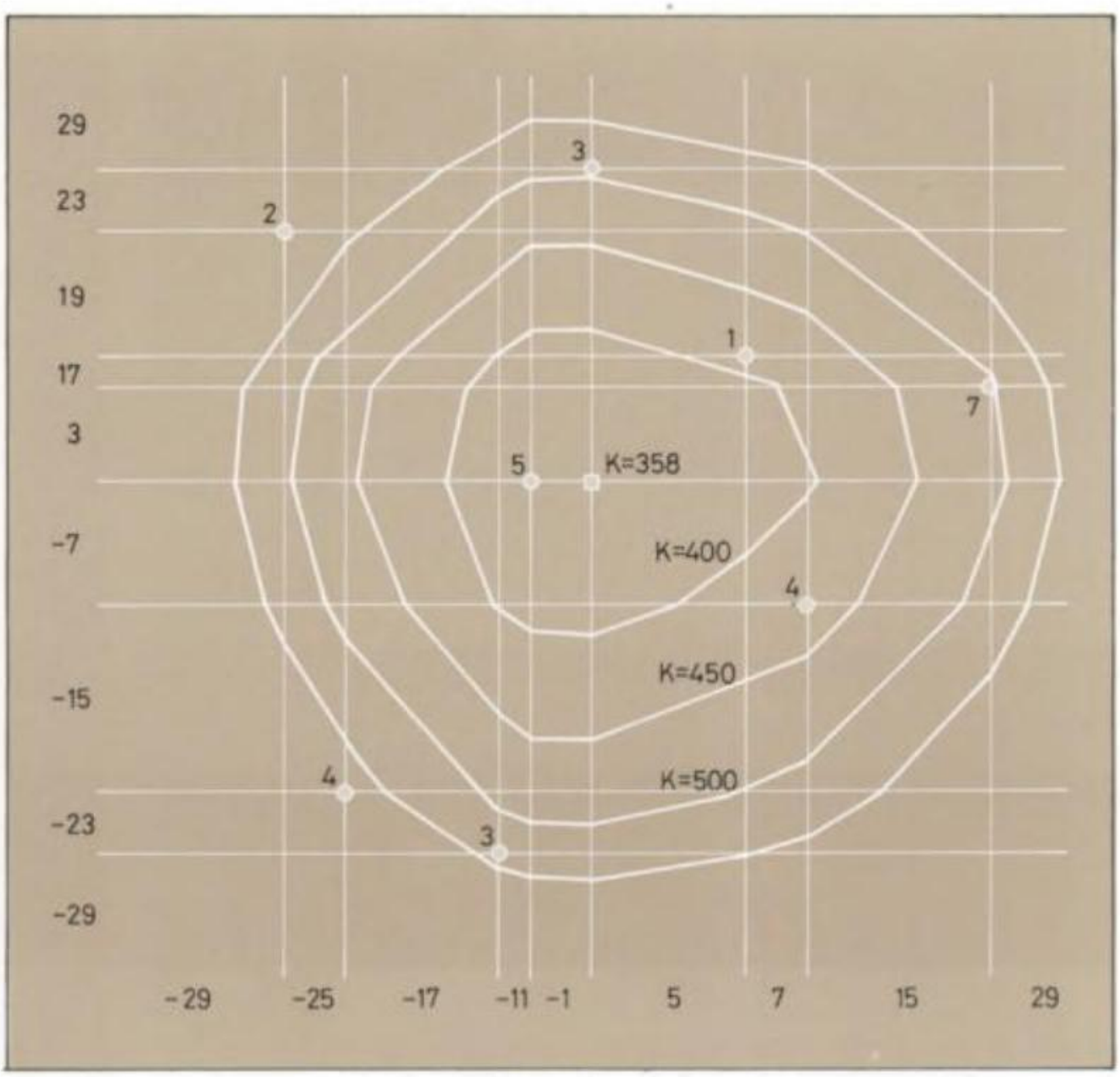


Figura 13. Las líneas isocoste, en el caso de costes proporcionales a la distancia rectangular, son polígonos convexos. La figura representa diversas líneas isocoste a partir de los datos correspondientes a la figura 7a.

Distancia euclídea al cuadrado

En el caso de distancia euclídea con costes proporcionales al cuadrado de dicha distancia, las líneas isocoste son circunferencias con centro en el óptimo absoluto. En la figura 14 se puede ver la aplicación de esta propiedad a nuestro ejemplo.

Distancia euclídea

Seguramente, tras lo discutido hasta aquí, ya no sorprenderá que para problemas con distancia euclídea y costes proporcionles a dicha distancia

Copyrighted material

las líneas isocoste no tengan ninguna propiedad geométrica especial y que no exista, en general, una función explícita que permita representarlas cómodamente. Por consiguiente, salvo para casos particulares, hay que trazarlas por puntos (por ejemplo, se puede determinar, para distintos valores de la abscisa, los dos valores de la ordenada que verifican $f(X)=K$, donde K es el valor que corresponde a la isocoste que se desea trazar (figura 15).

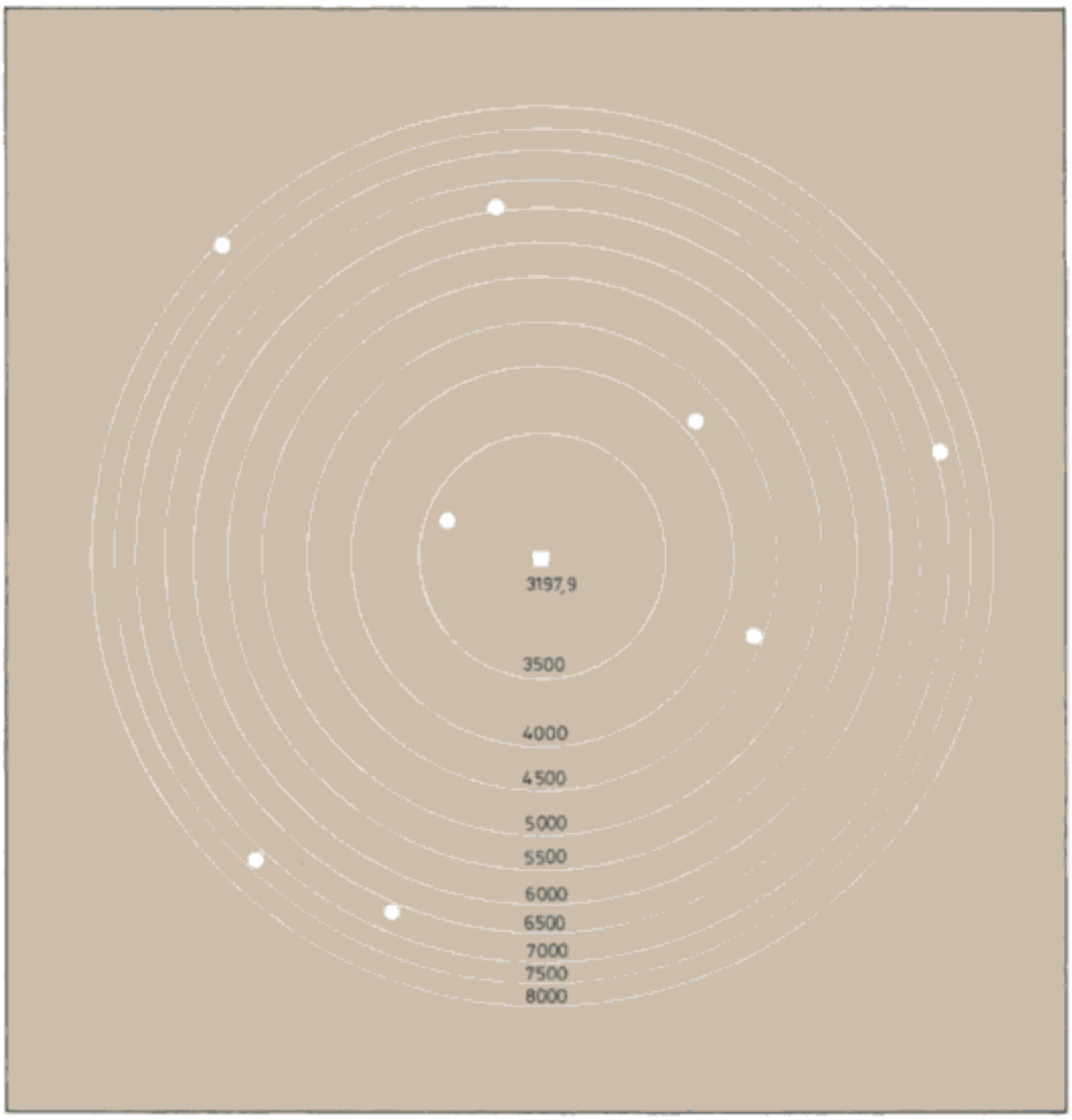


Figura 14. Si los costes son proporcionales al cuadrado de la distancia euclídea, las líneas isocoste son circunferencias cuyo centro es el punto óptimo, tal como aparece en la figura (los datos son los mismos que en el ejemplo de la figura anterior).

Localización de plantas y almacenes

Cuando la instalación que se trata de localizar es un elemento simple, los modelos anteriores pueden ser suficientes para tomar la decisión. Pero, en general, y como ya se ha comentado, el problema es más complejo, porque, entre otros motivos, intervienen otros criterios, además del coste.

Ello es lo que sucede en la localización de todo un sistema productivo o de una parte importante del mismo, como una planta o un almacén. En este caso, por otra parte, el proceso de decisión puede constar de diversas etapas.

Copyrighted material

En el caso más complejo, la primera de dichas etapas consiste en la elección de país o área geográfica. La escala a que se plantea esta primera fase depende de la empresa y de la naturaleza de sus actividades, pero en muchos casos es ya indispensable, para alcanzar o mantener la competitividad, la consideración del planeta entero como ámbito posible de localización de las actividades productivas. Son conocidos los cambios a gran escala que se han producido, especialmente en las dos últimas décadas, y que se siguen produciendo en la localización de las actividades industriales; tales cambios son uno de los aspectos más espectaculares del proceso de reestructuración del sistema económico y su estudio desborda, evidentemente, el enfoque de este texto.

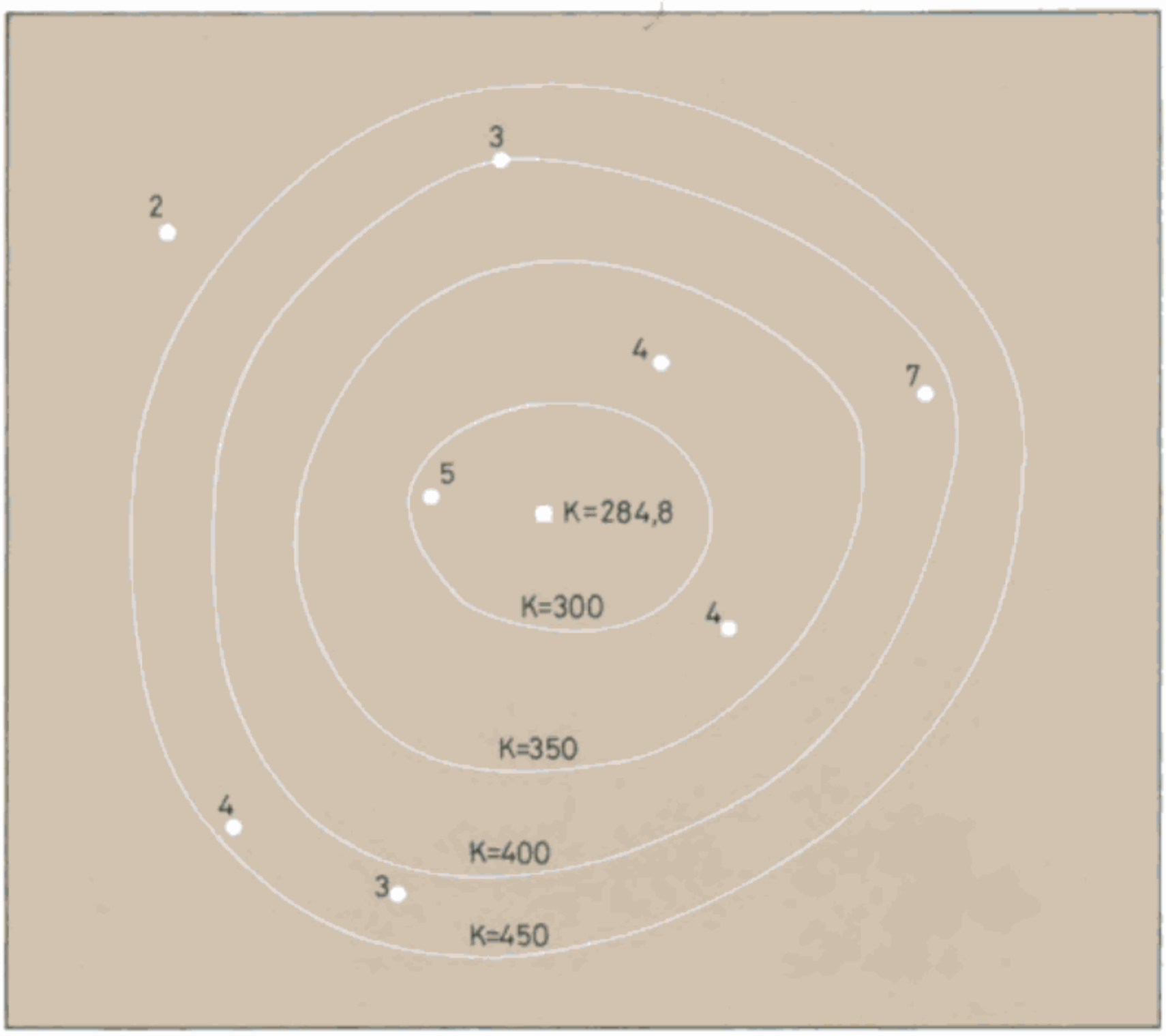


Figura 15. Las líneas isocoste, cuando los costes son proporcionales a la distancia euclídea, no corresponden en general a ninguna figura geométrica sencilla y han de trazarse por puntos. Las de la figura corresponden a los mismos datos utilizados en las figuras anteriores.

En esta primera fase, la evaluación de las alternativas ha de tener en cuenta criterios políticos, económicos y técnicos, tales como los que se recogen en la figura 16. Una vez determinado el país o el área, hay que elegir la localidad y el emplazamiento. En estas etapas del proceso de decisión intervienen otros criterios, tales como la disponibilidad y coste del suelo, las normas sobre el medio ambiente y la eliminación de residuos, la existencia de servicios médicos, educativos, etc. Para algunas empresas puede ser importante localizar sus instalaciones en un parque tecnológico.

En conjunto, los criterios que intervienen en la decisión de localización (denominados con frecuencia *factores de localización*) son numerosos y

Copyrighted material

Figura 16. La elección de país o área geográfica ha de tener en cuenta criterios políticos, económicos y técnicos.

Criterios para la elección de país o área geográfica
• Disponibilidad y coste de recursos naturales. • Transporte. • Comunicaciones. • Disponibilidad y coste de mano de obra. • Sindicatos. • Estabilidad política. • Posibilidad de expropiación. • Posibilidad de daños por guerra o conflictos. • Discriminación empresas extranjeras. • Disponibilidad de capital local. • Posibilidad de repatriación de los beneficios y del capital. • Estabilidad monetaria. • Convertibilidad de la moneda. • Estabilidad de precios. • Impuestos. • Aranceles. • Incentivos a la inversión.

variados. A los que aparecen en la figura 16 se puede añadir los recogidos en las figuras 17 y 18. Por supuesto, la importancia de los factores de localización es diversa, no sólo en las distintas fases del proceso de decisión, tal como se ha dicho, sino también de unas empresas a otras.

Para unas, es fundamental la proximidad a las materias primas, bien sea por su volumen o peso (especialmente si éstos se reducen a lo largo del

Figura 17. En la selección de la región, dentro de un determinado país o área geográfica, se ha de considerar una gama de criterios muy amplia, aunque más homogénea que la correspondiente a la elección de país o área.

Criterios agregados para la elección de región
• Accesibilidad a las fuentes de materias primas. • Mano de obra y salarios. • Disponibilidad y coste de la energía. • Accesibilidad a los mercados. • Transportes y comunicaciones. • Clima. • Fiscalidad y otros factores económicos. • Servicios.

Copyrighted material

Factores para la elección de localidad y emplazamiento
• Transporte. • Oferta de mano de obra. • Espacio para expansión. • Actitud de la comunidad. • Oportunidad para combinar con instalaciones existentes. • Proximidad a fuentes de aprovisionamiento. • Aprovisionamiento de agua. • Medios de transporte y coste de los mismos. • Condiciones de vida. • Posibilidad de deshacerse de los desechos. • Proximidad a los mercados. • Proximidad a centros de enseñanza secundaria y universitaria. • Posibilidad de publicidad en las vías de acceso. • Topografía del lugar. • Suministro de energía. • Posibilidad de conservar la mano de obra actual. • Relaciones entre obreros y empresa. • Disponibilidad de combustible. • Nivel salarial. • Estructura impositiva. • Existencia de centros escolares. • Factores religiosos. • Disponibilidad de personal ejecutivo y técnico. • Proximidad de centros de investigación. • Disponibilidad de viviendas. • Comunicaciones. • Clima. • Experiencias favorables de instalaciones similares. • Coste de las viviendas y de los edificios en general. • Políticas locales, legales e impositivas.

Figura 18. Esta larga lista de factores procede de una encuesta a 201 empresas estadounidenses sobre los factores realmente tenidos en cuenta en sus decisiones de localización; ello explica las redundancias parciales entre ciertos factores que pueden observarse en la relación.

proceso productivo), bien por su carácter perecedero. Es lo que sucede, por ejemplo, en las industrias lácteas, madereras o conserveras.

En otras, lo decisivo son los requerimientos del proceso. Por ejemplo,

Copyrighted material

disponibilidad de energía en la obtención de aluminio o de agua en centrales nucleares o en ciertos acabados textiles. Los ruidos, humos, olores, etc. que pueden ir asociados al proceso pueden implicar la necesidad de un emplazamiento aislado de núcleos de población.

Las empresas que fabrican productos perecederos o frágiles o de transporte difícil o caro así como aquellas cuyo proceso productivo integra elementos de procedencia muy dispersa tendrán tendencia a localizarse cerca de sus mercados.

Salvo que exista un factor de localización claramente predominante, lo que sólo sucederá en ciertos casos extremos, cada empresa, en cada etapa de su proceso de localización, deberá establecer su lista de factores y evaluar la importancia de cada uno de ellos (de hecho, la importancia a priori, puesto que un factor considerado en principio como decisivo puede ser finalmente insignificante si las alternativas a considerar son muy similares en relación a ese factor).

Figura 19. Esquema de la tabla para la comparación multicriterio de diversas soluciones para la localización de una planta o almacén.

Factores / *Soluciones*	*1*	*2*	...	...	...	*N*
Emplazamiento A						
Emplazamiento B						
— — — — — —	—	—	—	—	—	—
— — — — — —	—	—	—	—	—	—
Emplazamiento Z						

En cada etapa deberá establecerse, por consiguiente, una lista de alternativas y una lista de factores. Cada alternativa o solución deberá ser evaluada en relación a cada uno de los factores y así se podrá establecer una tabla como la de la figura 19.

Los contenidos de las casillas de esta tabla pueden ser de naturaleza muy dispar. En algunos casos serán informaciones cuantitativas (un coste, una nota en una escala numérica); en otros, cualitativas (una nota en una escala cualitativa –muy malo, malo, etc.– o un comentario, que puede ser el resumen de un estudio o informe más o menos extenso).

¿Cómo decidir a partir de una información de este tipo? Sólo si alguna solución es la mejor en relación a todos los factores la decisión no admite duda alguna. Pero, desde luego, no es ésta la situación más frecuente; por ejemplo, las localidades en que el suelo es más caro suelen disponer de mejores servicios, las que ofrecen incentivos fiscales pueden hacerlo para compensar el escaso atractivo que presentan desde otros puntos de vista, etc. En definitiva, las soluciones mejores son distintas según cuál sea el factor a criterio que se considere. Puesto que se trata de tenerlos todos en

Copyrighted material

cuenta, de una forma o de otra, la decisión de localización es un caso típico de *decisión multicriterio*.

Estos problemas de decisión multicriterio no admiten ninguna solución clara e indiscutible. Ello explica, probablemente, el gran número de métodos para el análisis de decisiones multicriterio que han sido publicados. No es éste el lugar adecuado para exponer, ni siquiera sucintamente, tales métodos. Algunos se basan en una agregación de los criterios, que nunca es trivial aunque a veces pueda parecerlo; téngase en cuenta que las evaluaciones de una solución según los diversos factores no se pueden agregar, sin más, aunque se trate de evaluaciones numéricas, porque en general corresponden a magnitudes de distinta naturaleza; por añadidura, como se ha dicho anteriormente, algunas evaluaciones son solamente cualitativas.

Un procedimiento que se suele utilizar consiste en reducir las evaluaciones de cada solución según cada criterio a una nota en una escala común (de 0 a 10 o de 0 a 100, por ejemplo), atribuir a cada criterio un peso y agregar las notas de cada solución ponderando con los pesos de los criterios. Se obtiene así para cada solución una nota única que, si los pesos de los criterios se normalizan de forma que sumen 1, toma valores en la misma escala que se haya utilizado para calificar las soluciones según los criterios o factores. Una variante de este procedimiento consiste en utilizar escalas distintas para cada factor, de forma que la importancia del factor se refleja a través de la magnitud de la escala, y atribuir a todos los factores el mismo peso; ello tiene el inconveniente de que no permite calcular fácilmente las notas globales si se desea modificar la importancia relativa de los factores y además los valores de los pesos no son explícitos, por lo cual quedan menos claras las implicaciones de utilizar el procedimiento.

Todo esto parece bastante natural y razonable (y sin duda, muchas personas, más o menos conscientemente, han aplicado este procedimiento de comparación de soluciones a problemas de muy diversa naturaleza y envergadura). Pero dista mucho de ser satisfactorio.

Es evidente que hay una cierta dificultad para pasar de las evaluaciones de una tabla como la de la figura 20 a las notas de la tabla que aparece en la

Factor / Emplazamiento	Inversión	Coste anual de explotación	Impacto ambiental	Comunicaciones
A	90	11	Insignificante	Autopista
B	110	8	Moderado	Autopista Puerto Aeropuerto int.
C	100	9	Fuerte	Carretera Ferrocarril
D	95	10	Bajo	Autopista Aeropuerto

Figura 20. Un ejemplo, muy simplificado, de evaluación multicriterio de cuatro emplazamientos para la localización de una planta. La tabla contiene valoraciones cuantitativas, cualitativas y meras descripciones. Algunas de estas valoraciones incluyen, desde luego, elementos subjetivos.

Copyrighted material

figura 21. Pero no es éste el mayor problema que presenta el método. Más importantes son la atribución de pesos y las hipótesis implícitas en el procedimiento de agregación, a saber, que una desventaja según un criterio puede ser compensada con una ventaja en otro, *sea cual sea la nota de la solución en cada criterio y a una tasa de substitución constante*; se trata, pues, de hipótesis fuertes y de difícil cumplimiento. Por otra parte, y desde luego, variaciones en los valores de los pesos pueden alterar el orden que resulta para las soluciones; en un estudio de este tipo no basta con utilizar un cierto juego de pesos, sino que se debe explorar una gama de valores y analizar la sensibilidad del resultado en relación a las variaciones de los pesos.

Figura 21. Notas (en la escala 0 ÷ 100), para cada solución y cada criterio, correspondientes a las evaluaciones de la figura 20. El paso de evaluaciones a notas no es arbitrario pero indudablemente es, en buena parte, subjetivo.

Factor / Emplazamiento	Inversión Inversión	Coste anual de exploraciones	Impacto ambiental	Comunicaciones
A	100	0	90	70
B	0	100	50	100
C	50	67	20	40
D	75	33	75	80

En definitiva, el resultado se ha de considerar siempre críticamente. A este procedimiento no se le puede exigir lo que no puede dar y ni éste ni ningún procedimiento de análisis multicriterio, aunque sea mucho más elaborado y complejo, puede liberar a quien tiene que tomar una decisión de este tipo de la responsabilidad de hacerlo.

La utilidad del procedimiento reside, en todo caso, en su capacidad para reducir el número de soluciones a considerar, a través de la eliminación de las menos satisfactorias. Para un decisor es muy difícil aprehender la información correspondiente a muchas soluciones y muchos criterios. Los métodos de análisis multicriterio permiten disminuir el número de soluciones (y a veces también el de criterios) a tener en cuenta y, en definitiva, reducen las dimensiones del problema hasta que puede ser razonablemente analizado por quien tenga que tomar la decisión; ésta, finalmente, es siempre una decisión política, en un sentido más o menos amplio de esta palabra. De ahí lo desafortunado de una frase como la de la figura 22.

Localización de servicios

Los servicios presentan problemas específicos. Son, en general, los productos más perecederos (su producción y su consumo suele tener lugar simultáneamente) y, por ser intangibles, su transporte más que difícil puede ser imposible. De ahí que sea típica la tendencia de muchos servicios a localizarse cerca de sus mercados, hasta el punto de dispersarse en unidades muy pequeñas (oficinas bancarias, establecimientos de venta de tabaco, hoteles, bares y restaurantes, etc.). Durante mucho tiempo incluso se ha llegado a considerar esta fragmentación como una característica inherente a los servicios, de la cual se desprendería la imposibilidad de

Copyrighted material

obtener economías de escala, así como la escasa aplicabilidad a los servicios de las técnicas de organización, puesto que al producirse en unidades pequeñas la gestión de las mismas sería elemental y sólo requeriría dedicación y buen sentido.

Esta concepción contiene diversos errores que son graves por sus consecuencias. Implica, en primer lugar, una confusión entre la dimensión de la empresa y las de sus establecimientos; hay grandes empresas que constan de cientos o miles de establecimientos pequeños e incluso muy pequeños (entidades financieras, cadenas de restaurantes rápidos), de cuya circunstancia obtienen, gracias a una gestión adecuada, grandes economías de escala. Por otra parte, no es cierto que, obligadamente, el servicio tenga que estar cerca del consumidor; es así, evidentemente, en muchos casos, pero en muchos otros el consumidor está dispuesto a desplazarse, incluso a distancias considerables, para recibir el servicio

> [un responsable de la Administración] piensa que al final será un ordenador el que decidirá el emplazamiento, sobre el cúmulo de datos proporcionados por España y Francia: rentas de la población, comunicaciones, cultura, propiedades, temperaturas, fotografías aéreas, etcétera. En el mismo ordenador han sido introducidas las condiciones que ofrece cada país.
>
> "Las condiciones que ofrece cada país son muy difíciles de comparar. Sólo son cotejables a través de un programa muy elaborado de ordenador. Francia tiene rentas *per cápita* más altas y poblaciones más grandes, así como mayor cercanía a Europa occidental.
>
> "En España disponemos de mejor infraestructura de alojamientos, mejor clima y mejor turismo para este proyecto. Aquí vienen fundamentalmente familias con niños, mientras que a los franceses les visitan muchas personas de más edad y matrimonios sin hijos".
>
> El País, 11-8-85, p. 37

Figura 22. La localización de una instalación importante es un problema multicriterio y, por consiguiente, la decisión es en último término una decisión política (en la más amplia acepción de este término) y no meramente técnica. La cita se refiere a la localización de un gran parque de atracciones, con una inversión de miles de millones de pesetas, y no se puede estar de acuerdo con ella: ninguna persona responsable dejaría "en manos" de un ordenador una decisión de esta envergadura, aunque, por supuesto, debería utilizar el ordenador como herramienta para elaborar los datos, realizar evaluaciones, etc.

(medicina especializada, restaurantes de prestigio, festivales de música, teatro y ópera, comercios de grandes superficies; y, por supuesto, el turismo). Las innovaciones tecnológicas permiten muchas veces que el consumidor del servicio lo reciba (sin necesidad de desplazarse o con un desplazamiento mínimo) a través de redes de comunicaciones (reservas de plazas en medios de transporte, espectáculos, etc.; operaciones bancarias desde el teléfono o desde un ordenador personal utilizados como terminales, etc.). Existe además muchas veces la posibilidad de recurrir a intermediarios para lo que puede denominarse distribución del producto (un mayorista de circuitos turísticos vende su producto a través de agencias de viajes; las redes de oficinas bancarias o los estancos actúan o pueden actuar como intermediarios para muy distintos tipos de servicios, sin relación alguna en muchos casos con la función que caracteriza al establecimiento).

Copyrighted material

El sector de servicios es un conglomerado de actividades muy diversas a las que difícilmente cabe aplicar los mismos criterios.

Por una parte, hay que distinguir entre los servicios que se prestan a domicilio (reparaciones, mensajería, etc.) y aquéllos en que es el cliente el que acude al servicio (comercio, centros hospitalarios, etc.). En los primeris, el coste de los desplazamientos jugará un papel similar al desempeñado por los costes de transporte de los bienes en el caso de las actividades manufactureras. En los otros, el coste del desplazamiento no lo asume el servicio sino el cliente o usuario, por lo que deberá ser objeto de una consideración distinta, como barrera para el acceso al servicio; en los servicios al consumidor pueden ser muy importantes en la decisión de localización determinados aspectos (tales como visibilidad del establecimiento, congestión de tráfico, transporte público, aparcamiento, etc.) que en otras actividades pueden ser insignificantes.

Por otra, es muy importante la distinción entre servicios públicos y privados.

En estos últimos, con todos los matices que se quiera, el criterio que engloba todos los demás es el beneficio. En los servicios públicos, el acuerdo sobre los objetivos es mucho menos unánime.

Por ejemplo, en un estudio de localización de centros sanitarios se consideraron tres criterios distintos, a saber:

a) Máxima utilización del centro (es decir, la localización óptima es aquélla cuya área de influencia comprende mayor número de visitas por período).

b) Mínima distancia media por usuario.

c) Mínima distancia media por visita.

En el estudio aludido, por cierto, el óptimo para cada uno de estos criterios correspondió a una ciudad distinta.

Obsérvese que esta relación no agota todas las posibilidades.

Por ejemplo, un criterio muy interesante para ciertos servicios de emergencia (unidades coronarias, parques de bomberos, etc.), y que ya ha sido mencionado anteriormente en este texto, es el de optimizar la proximidad al usuario que quede más lejos del centro de prestación del servicio o, en otras palabras, minimizar la distancia máxima (técnicamente y con mayor brevedad se suele denominar a éste criterio minimax).

Por otra parte el primero de los criterios mencionados en el repetido estudio admite la variante de maximizar el número de usuarios (en lugar del número de visitas). En un servicio privado se puede considerar la maximización del valor monetario de la demanda.

Sea cual sea la variante, el cálculo de la demanda de un servicio requiere normalmente mucha información. Una vez delimitado el segmento de la población susceptible de utilizar el servicio (puede caracterizarse por la edad, el sexo, el nivel de renta, etc.) se ha de determinar cuál es su distribución espacial. Cuando se dispone de información sobre la misma suele estar referida a determinadas zonas, cuyo tamaño no tiene porque

Copyrighted material

ser el más conveniente para el estudio; la agregación presenta sólo problemas menores, pero la desagregación supone inevitablemente introducir algunos errores. Para estimar la demanda a partir de estos datos se ha de elaborar un modelo que calcule la demanda a partir de características de la población y de su distancia a la localización del servicio. Tales modelos pueden ser, desde luego, muy variados, puesto que dependen de la naturaleza del servicio y de la información disponible.

En lo que respecta a la distancia presentan básicamente dos variantes. La primera consiste en considerar como usuarios a toda la población perteneciente al segmento a que se dirige el servicio incluida en los puntos cuya distancia (o tiempo de desplazamiento) al centro de servicio es igual o menor que un cierto valor. La segunda incluye en el cómputo una proporción que decrece a medida que aumenta la distancia (por ejemplo, inversamente proporcional a una potencia o a una exponencial de la misma).

Modelos más complejos pueden tener en cuenta la presencia de otros centros de servicio (propios o de la competencia) en la zona de influencia del que se desea localizar.

LOCALIZACIÓN DE DIVERSAS INSTALACIONES

La localización de una sola instalación, pese a la compeljidad que, como se ha visto, puede llegar a presentar, es sólo un caso particular del problema de localización. Es más, en rigor, plantearse el problema de localizar una sola instalación supone ya una respuesta al problema más general, que incluye las siguientes preguntas:

¿CUÁNTAS instalaciones?
¿DÓNDE deben localizarse?
¿CON QUÉ CAPACIDAD?
¿QUÉ ACTIVIDADES ha de desarrollar cada instalación?
¿CON QUÉ INSTALACIONES o CLIENTES ha de relacionarse?

La dificultad para darles respuestas se acentúa por el hecho de que éstas no son independientes. En un problema de esta complejidad, el objetivo de hallar la mejor solución (supuesto definido un criterio) no siempre es alcanzable pero, en cualquier caso, conviene cuantificar los resultados de las decisiones y determinar los óptimos exactos o aproximados en los aspectos para los que ello sea factible.

Son numerosos los modelos de optimización para instalaciones múltiples, algunos de los cuales revisten gran complejidad y exigen la utilización de los más potentes medios de cálculo. Suelen referirse al caso de espacio discreto, en el que cabe establecer una lista más o menos larga, pero finita, de los emplazamientos posibles.

Una selección de tales modelos se describe a continuación.

Problema de asignación

De los problemas de localización de múltiples instalaciones, el más sencillo es el que recibe el nombre de problema de asignación o de afectación. Se trata de determinar la localización de *m* instalaciones indivisibles

Copyrighted material

que se relacionarán con *P* instalaciones existentes pero no se relacionarán entre sí y que pueden ubicarse en algún emplazamiento de los *n* disponibles; se conoce o puede calcularse la distancia, $d(k,j)$, entre cada instalación existente *k* y cada emplazamiento *j* y, por otra parte, se conoce el coste por unidad de distancia, $w(i,k)$, entre la nueva instalación *i* y la ya existente *k*; cada emplazamiento puede albergar sólo una instalación, por lo cual si el número de nuevas instalaciones es igual al de emplazamientos disponibles ($m=n$) la solución consiste en asignar a cada emplazamiento una instalación y sólo una (si $m>n$ el problema no admite solución y si $m<n$ se añade a la lista de nuevas instalaciones $n-m$ instalaciones

Figura 23. Matriz de costes de un problema de asignación. Se dispone de seis emplazamientos (E_1 a E_6) y se trata de asignar a cada uno de ellos una instalación (y sólo una) de un conjunto de seis (I_1 a I_6). Los elementos de la matriz son los costes de asignar la instalación correspondiente a la fila al emplazamiento correspondiente a la columna.

	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6
I_1	2	4	3	8	6	5
I_2	7	5	9	7	4	3
I_3	2	1	3	3	8	2
I_4	3	4	2	5	7	4
I_5	6	3	4	5	3	6
I_6	5	2	6	9	8	2

ficticias —con $w(i,k)=0\ \forall k$— con lo que se asimila al caso $m=n$). Este problema de localización múltiple es, pues, un caso particular del problema que consiste en, dados dos conjuntos de objetos con el mismo número de elementos, formar parejas que consten de un elemento del primer conjunto y otro del segundo de modo que la asignación tenga valor máximo o mínimo (dado un valor para cada pareja posible). Toda la información necesaria para resolverlo se puede resumir en una matriz $m \times n$ tal como la que se presenta en la figura 23.

El problema se puede plantear como un programa lineal en variables binarias (como se puede ver en la figura 24). El valor 1 de una variable $x(i,j)$ está asociado al hecho de situar la instalación $I(i)$ en el emplazamiento $E(j)$; la variable tiene valor 0 en caso contrario. Se trata de hacer mínima la suma de costes respetando las condiciones de que cada emplazamiento acoge una instalación y sólo una (primer grupo de restricciones) y de que cada instalación se sitúa en un emplazamiento y sólo uno (segundo grupo de restricciones). Aunque las variables son binarias, el problema se puede resolver con los algoritmos habitualmente utilizados para resolver programas lineales con variables continuas, ya que su peculiar estructura garantiza el carácter entero de la solución óptima obtenida. El problema de asignación es también un caso particular del problema del transporte y se puede resolver mediante cualquier algoritmo adecuado para dicho problema, pero además admite algoritmos específicos, como el denominado *algoritmo húngaro*. La figura 25 muestra la solución óptima del ejemplo de la figura 23.

Copyrighted material

$$[\text{MIN}]Z = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} c_{ij}\, x_{ij}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1 \qquad j = 1,2,\ldots,n$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1 \qquad i = 1,2,\ldots,n$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}\ \forall_{ij}$$

Figura 24. El problema de asignación se puede plantear como un programa lineal con variables binarias.

Problema de asignación generalizado

Hasta aquí se ha prescindido de las dimensiones de los emplazamientos y de las instalaciones; cada emplazamiento ha sido tratado como un punto que podía ser ocupado únicamente por una instalación.

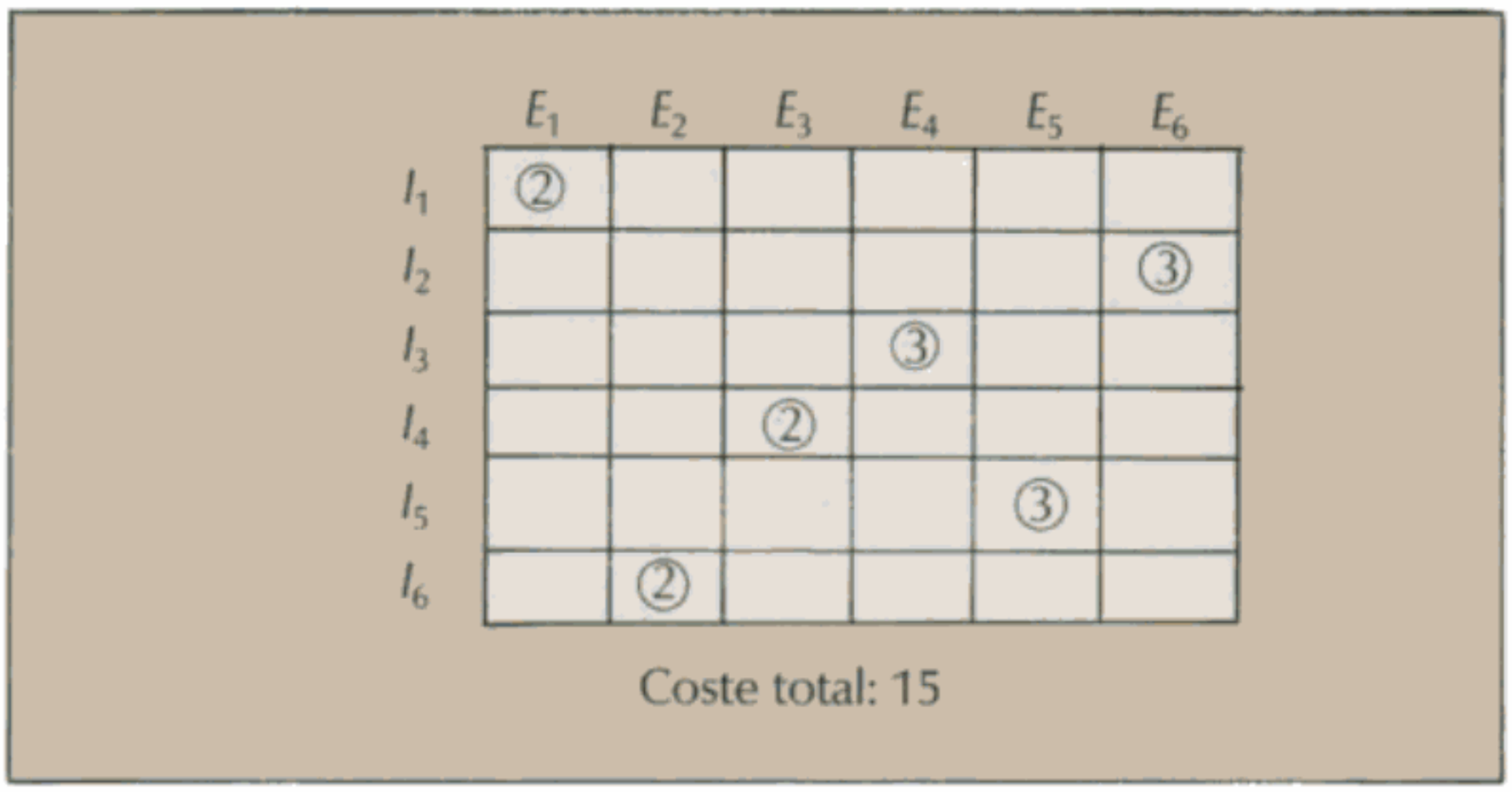


Figura 25. Solución al ejemplo del problema de asignación de la figura 23.

Considérese ahora que los recursos a localizar (lo que hasta aquí se ha venido denominando habitualmente instalaciones) son *m* artículos y que se trata de determinar cuáles de las *n* parcelas en que se considera dividido el almacén conviene asignar a cada artículo, sabiendo que el artículo *i* necesita *A(i)* parcelas y que hay *p* muelles de carga y descarga (que juegan aquí el papel desempeñado hasta ahora por lo que se ha denominado instalaciones existentes) y conociendo asimismo las distancias, *d(k,j)*, desde cada muelle *k* a cada parcela *j* y los costes por unidad de distancia del transporte, a través de *k*, del artículo *i*. En el supuesto de que los movimientos de un artículo se reparten por igual entre las *A(i)* parcelas que tiene asignadas, el coste, *c(i,j)* de asignar la parcela *j* al artículo *i* es:

$$c(i,j) = \frac{1}{A(i)} \sum_{k=1}^{p} w(i,k)\, d(k,j)$$

Copyrighted material

y el problema se puede formular como un programa lineal, tal como se puede ver en la figura 26.

Para dicha formulación se ha hecho el supuesto (que se mantiene en lo sucesivo) de que el número de parcelas requeridas para los artículos es igual al de parcelas disponibles (si es menor, basta definir un artículo ficticio que requiera tantas parcelas como sean necesarias para establecer la igualdad). Las variables del programa lineal están asociadas al hecho de asignar o no el emplazamiento *j* al recurso *i* y el modelo expresa que se desea minimizar el coste respetando las condiciones de que a cada recurso se le debe asignar exactamente *A* (i) emplazamientos (primer grupo de restricciones) y de que a cada emplazamiento se le debe asignar un recurso y sólo uno. Se trata de un caso particular del denominado problema del transporte; su estructura peculiar garantiza, si las *A*(*i*) son enteras, que la solución obtenida mediante un algoritmo de la familia del símplex es entera; puede resolverse también mediante cualquiera de los algoritmos específicos que existen para dicho problema del transporte.

Figura 26. Programa lineal en variables binarias correspondiente al problema de asignación generalizado.

$$[\text{MIN}]z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} c_{ij}\, x_{ij}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = A_1 \qquad i = 1,2,\ldots,m$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = 1 \qquad j = 1,2,\ldots,n$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}$$

En cualquier caso, y salvo para problemas de muy reducidas dimensiones, la resolución de problemas de este tipo requiere el uso de ordenadores, salvo en algunos casos particulares en que cabe aplicar algoritmos mucho más sencillos.

De tales casos particulares, los más interesantes en la práctica son los dos que se comenta a continuación.

Localización de un solo artículo

Este caso es prácticamente trivial. Cada parcela puede ser o no asignada al artículo. El coste de asignar la parcela *j* es (basta con suprimir el subíndice *i* en la expresión que define *c*(*i*,*j*), más arriba):

$$c(j) = \frac{1}{A} \sum_{k=1}^{p} w(k)\, d(k,j)$$

y evidentemente la solución óptima consiste en localizar el artículo en las

Copyrighted material

A primeras parcelas según el orden creciente de las *c(j)*. Puede verse un ejemplo en la figura 27.

En ella se indica la posición de las puertas de entrada y salida (*E* y *S*, respectivamente), así como los valores de la distancia rectangular del centro de cada parcela a dichas puertas (el valor de la parte superior izquierda corresponde a la distancia a *S* y el de la parte superior derecha a la distancia a *E*); se ha calculado también los promedios de estos dos valores (en régimen permanente, el promedio de entradas es igual al promedio de salidas), que figuran en la parte inferior del cuadrado correspondiente a cada parcela. Las parcelas se asignan según el orden creciente de estos últimos valores.

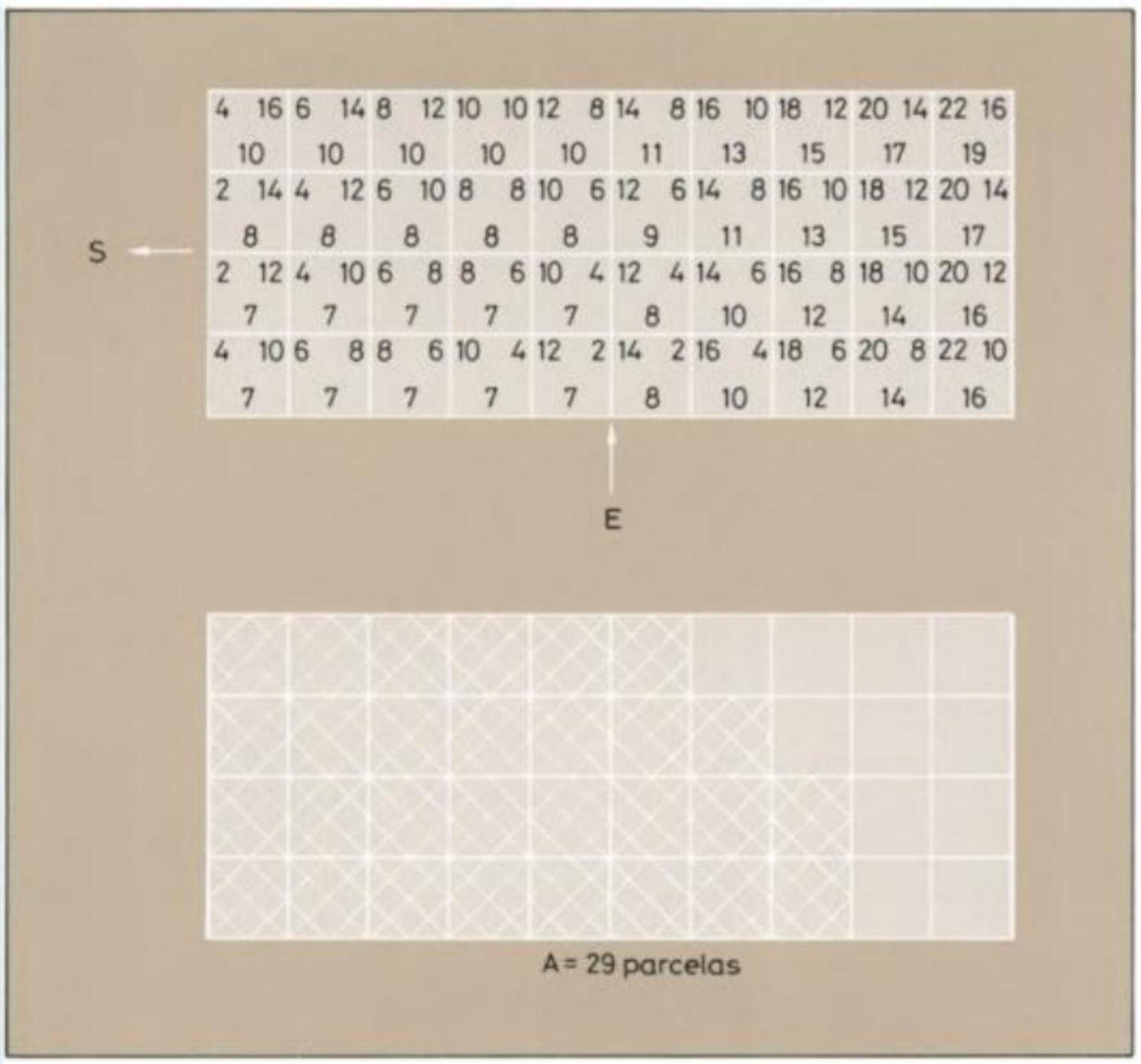


Figura 27. Un ejemplo de asignación de parcelas de un almacén a un solo artículo.

Caso factorial

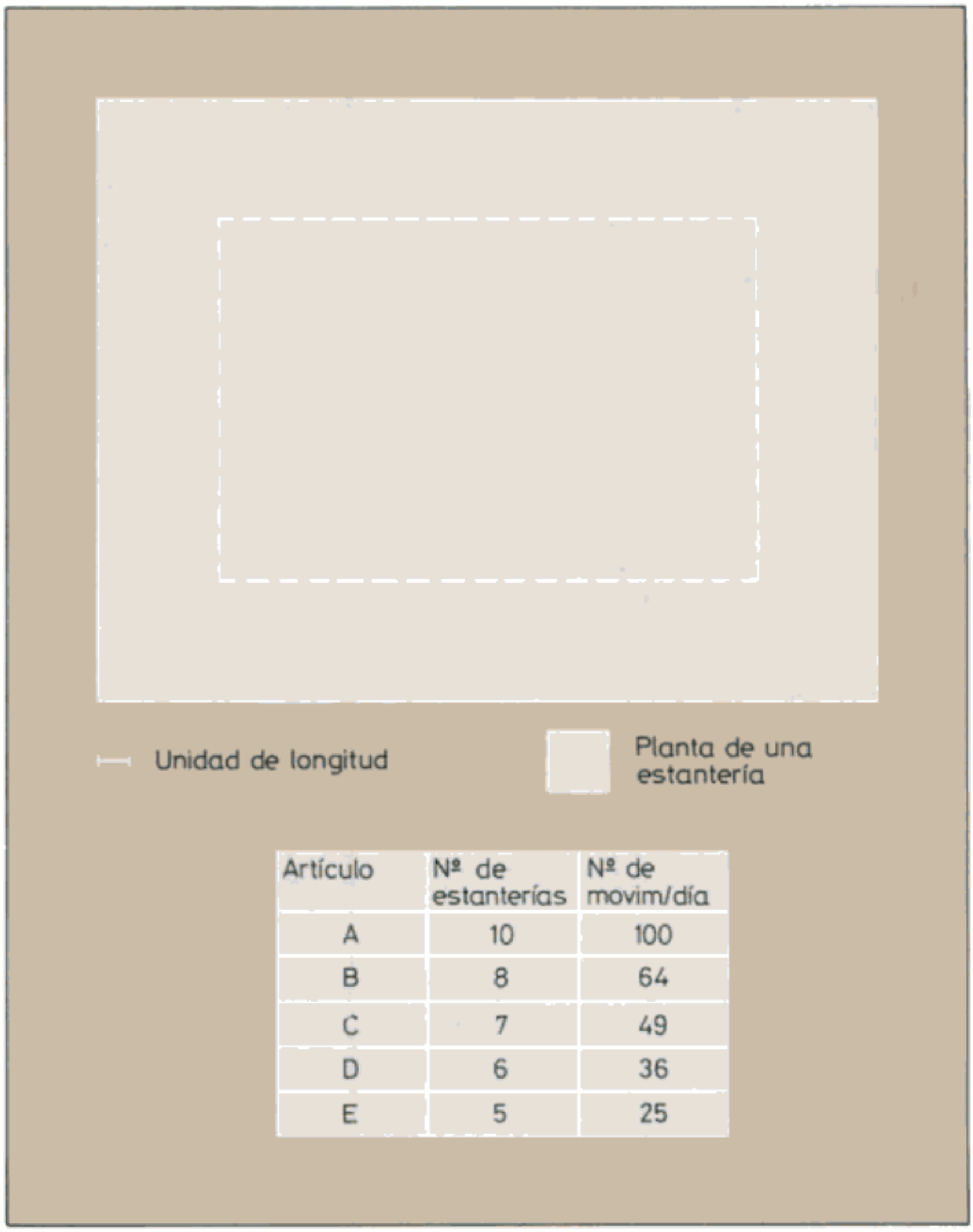
Se dice que se presenta el caso factorial cuando los pesos *w(i,k)* se pueden expresar como el producto de dos factores, de los cuales uno está asociado al artículo y el otro al muelle:

$$w(i,k) = u(i)\,v(k)$$

Esta condición se verifica si la proporción de movimientos que corresponde a cada uno de los artículos es la misma para todos los muelles o, lo que es lo mismo, si la proporción de movimientos a través de cada uno de

Copyrighted material

los muelles es la misma para todos los artículos. Las $u(i)$ pueden corresponder al movimiento total del artículo i y las $v(k)$ a la proporción del movimiento que se realiza a través del muelle k; o bien las $v(k)$ pueden ser el movimiento total a través del muelle k y las $u(i)$ la proporción correspondiente a cada artículo. Como se ve, pues, el caso factorial se dará frecuentemente en la práctica.



Artículo	Nº de estanterías	Nº de movim/día
A	10	100
B	8	64
C	7	49
D	6	36
E	5	25

Figura 28. Datos para determinar la distribución de un almacén. Se representa la planta del local (rectángulo exterior, con trazo continuo) y se delimita, con trazo discontinuo, la zona en que pueden ser colocadas las estanterías (de planta 2×2) que contendrán los productos. Se supone que ha de haber una puerta de entrada de materiales y otra, distinta de salida y que dichas puertas pueden situarse en el centro de cualquiera de las cuatro paredes del local.

Es fácil ver que los costes $c(i,j)$ pueden expresarse entonces, asimismo, como el producto de dos factores, uno asociado al artículo y otro a la parcela:

$$c(i,j) = \frac{u(i)}{A(i)} \sum_{k=1}^{p} v(k)\, d(k,j) = u'(i)\, f(j)$$

Copyrighted material

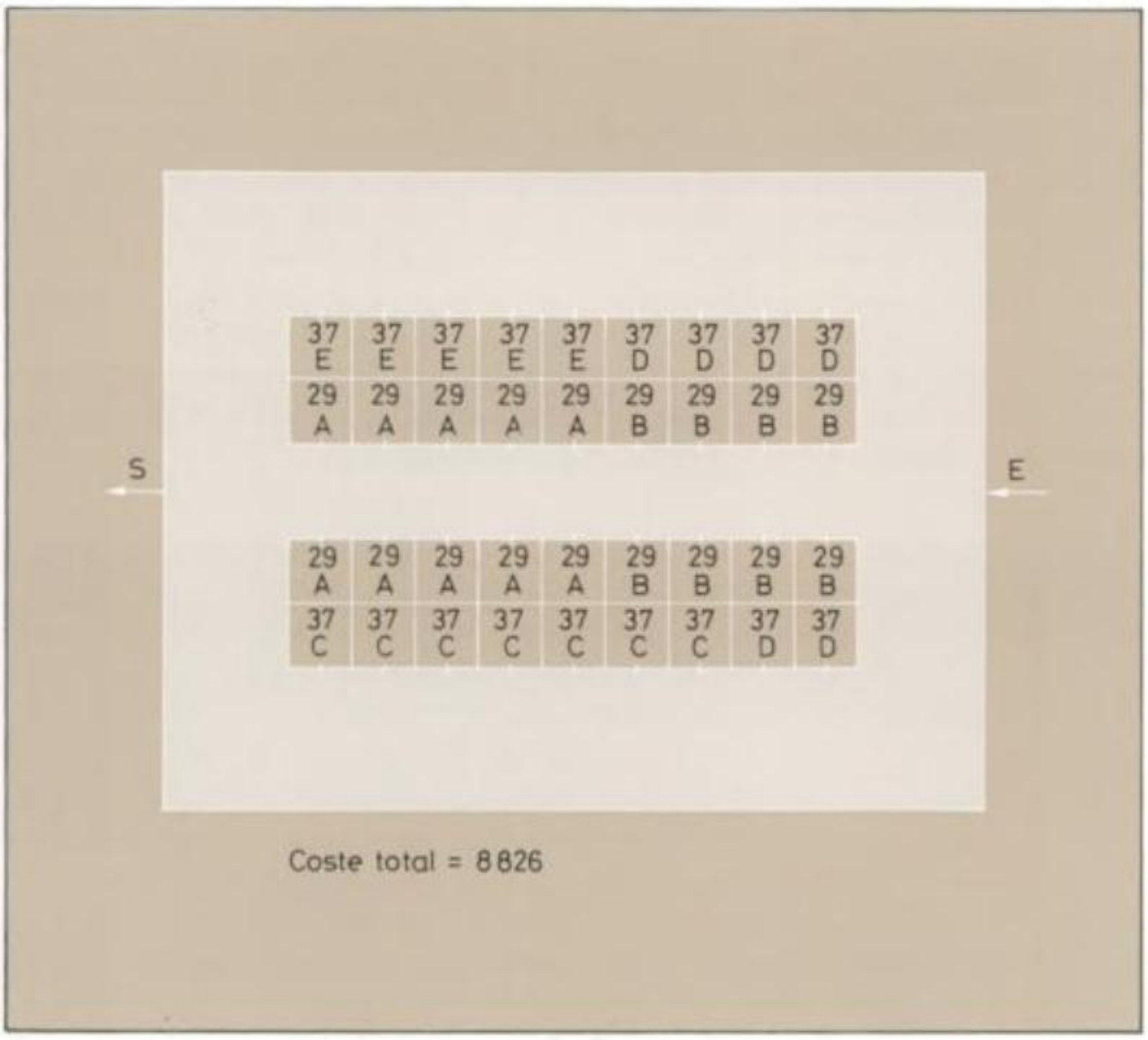


Figura 29. Un esquema de situación de las puertas y de disposición de las estanterías, con una asignación óptima de artículos a las mismas, para el almacén descrito en la figura 28.

$$\text{con } u'(i) = \frac{u(i)}{A(i)} \text{ y} \qquad f(j) = \sum_{k=1}^{p} v(k)\, d(k,j)$$

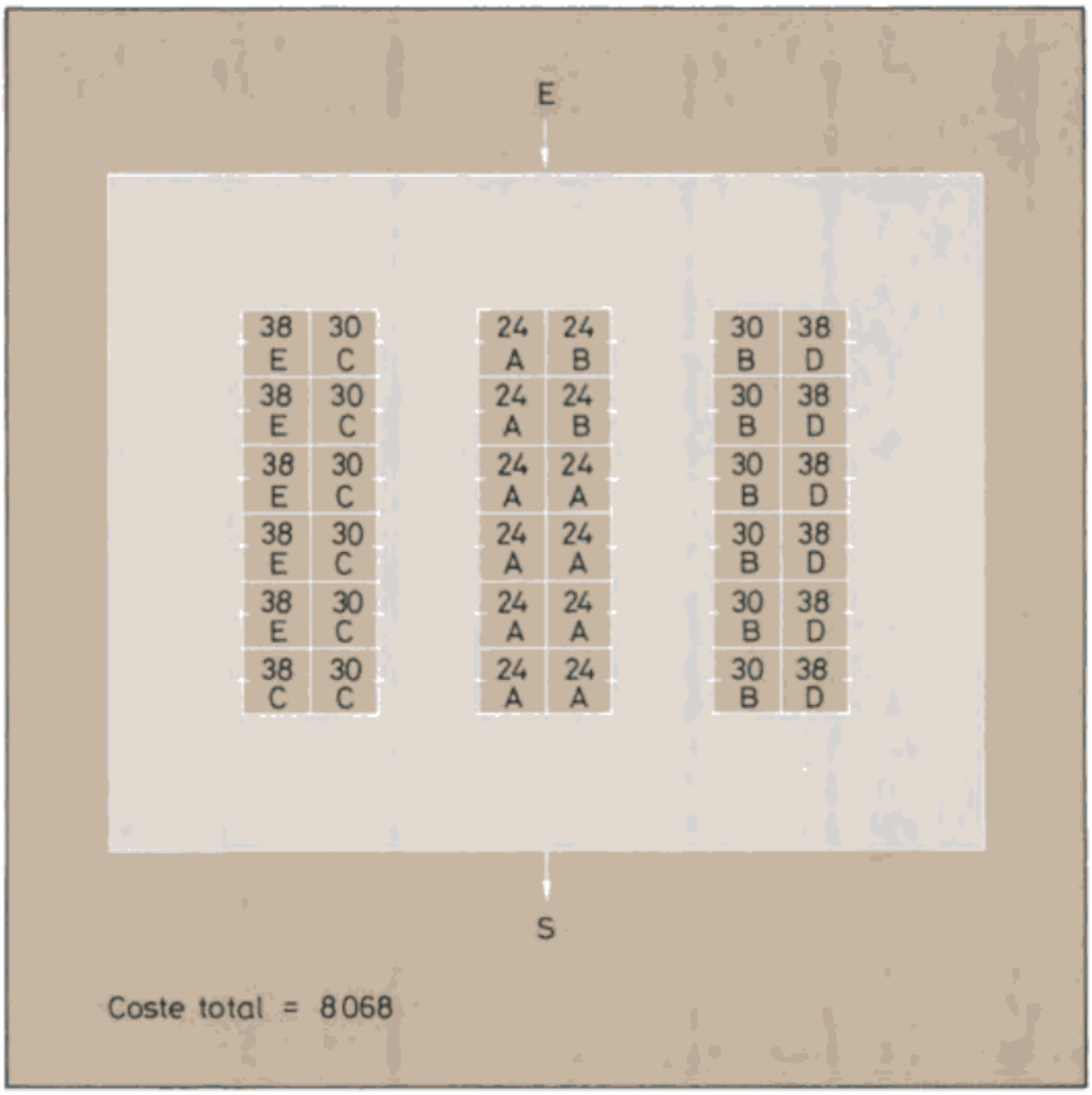
La solución del problema consiste en elegir n de las $m \cdot n$ $c(i,j)$ de modo que haya exactamente $A(i)$ con subdíndice i y que la suma de las $c(i,j)$ elegidas sea la mínima entre los conjuntos que cumplen la mencionada condición. Si se considera el vector de componentes $f(j)$ (n componentes) y otro vector de igual dimensión cuyos componentes son las $u'(i)$ repetidas cada una de ellas $A(i)$ veces (recuérdese que la suma de las $A(i)$ se supone igual a n mediante un artículo ficticio, si es necesario—) se trata de asociar a cada componente del primer vector uno del segundo de modo que la suma de productos de los componentes apareados sea mínima; no es difícil demostrar que ello se consigue ordenando los componentes de forma monótonamente creciente en uno de los vectores y monótonamente decreciente en el otro y apareando entonces los que ocupan posiciones homólogas.

En las figuras 28, 29 y 30 se puede ver la aplicación de este modelo a la organización de un almacén. La primera incluye los datos y las dos siguientes presentan dos esquemas sencillos y razonables (entendiendo aquí por esquema el conjunto de la disposición de las estanterías y la situación de las puertas). En régimen permanente, el promedio de entradas de cada artículo es igual al de salida, por lo cual la distancia a *E* tiene la misma importancia que la distancia a *S*. Para cada esquema, la asignación de

Copyrighted material

estanterías a los artículos es un caso factorial del problema de asignación generalizado. Se ha calculado, para cada estantería, la suma de distancia a *E* y a *S* (en el supuesto de desplazamientos según las direcciones de los ejes) del punto central del lado de acceso (indicado con un pequeño trazo) y, según el orden creciente de estos valores, se han asignado los artículos (según el orden decreciente del número de movimientos por parcela). Por lo que respecta a los costes, la mejor solución es la de la figura 30. De hecho, tanto con un esquema como con el otro, hay múltiples soluciones, a causa de que hay conjuntos de parcelas con igual suma de distancias, lo que permite diversas asignaciones de igual coste; para elegir entre ellas se debe recurrir a algún criterio adicional (por ejemplo, que las estanterías de un mismo artículo sean contiguas).

Figura 30. Otro esquema con una asignación óptima. El coste correspondiente a esta solución es menor.



Asignación cuadrática

Si las nuevas instalaciones se han de relacionar entre sí, además de relacionarse con las ya existentes, el problema de localización múltiple se denomina de asignación cuadrática, por tener esta característica la función de coste que se trata de minimizar.

La figura 31 recoge el planteamiento de este problema como programa

Copyrighted material

$$[\text{MIN}]z = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{n} \sum_{h=1}^{n} c_{ikjh}\, x_{ik}\, x_{jh}$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ik} = 1 \qquad k = 1,2,\ldots,n$$

$$\sum_{k=1}^{n} x_{ik} = 1 \qquad i = 1,2,\ldots,n$$

$$x_{ik} \in \{0,1\}\ \forall_{ik}$$

Figura 31. Un modelo de programación matemática para el problema de asignación cuadrática.

matemático en el caso en que no hay instalaciones preexistentes. Corresponde al supuesto de que se trata de asignar una instalación (y una sola) de un conjunto de *n* a un emplazamiento (y sólo uno) de un conjunto de *n*. Las variables y las restricciones son las mismas en este probema que en el de asignación lineal (ver figura 24), pero en este caso la función que se trata de minimizar es cuadrática.

Figura 32. El problema de asignación cuadrática, salvo en ejemplos de muy reducidas dimensiones, es muy difícil de resolver exactamente en un tiempo de cálculo que no sea muy elevado. Por ello, se suele recurrir a algoritmos heurísticos, tal como el esbozado en esta figura.

Un algoritmo heurístico para el problema de asignación cuadrática

Dados:

n número de instalaciones y, asimismo, número de emplazamientos.

D matriz de distancias entre los emplazamientos, que se supondrá simétrica.

W matriz de pesos (coste por unidad de distancia) de cada par de instalaciones, que es también simétrica.

El algoritmo se puede describir, en resumen, así:

1.– Construir una solución.

1.1.– Calcular para cada instalación la suma de los pesos correspondientes a su relación con las otras instalaciones y colocarlas por orden decreciente de los valores obtenidos.

1.2.– Calcular para cada emplazamiento la suma de distancias a los demás y colocarlos en orden creciente de los valos obtenidos.

1.3.– Asignar cada instalación al emplazamiento que tenga su mismo número de orden.

1.4.– Calcular el coste de esta solución.

2.– Mejorar la solución por intercambio.

Ensayar sistemáticamente la permutación de los emplazamientos de pares de instalaciones; si el coste mejora, se mantiene la permutación ensayada y la nueva solución así obteni substituye a la anterior. Este proceso se repite hasta que una solución no se puede mejorar a través de las referidas permutaciones.

Copyrighted material

Este problema, a diferencia de todos los examinados anteriormente, es muy difícil de resolver. Existen, desde luego, algoritmos para ello pero tales que, en general, el tiempo necesario para la resolución del problema crece exponencialmente con las dimensiones del mismo y deviene rápidamente prohibitivo. Por este motivo, en general hay que conformarse con soluciones de buena calidad aunque no sean óptimas o aunque no se tenga la certeza de que lo sean. Tales soluciones se obtienen mediante algoritmos heurísticos, que permiten obtener soluciones satisfactorias en tiempos de cálculo razonables, y de los que, para resolver el problema de asignación cuadrática, existe un buen número.

Uno de tales algoritmos se ha descrito, sin apenas formalización, en la figura 32 y se ha aplicado a un ejemplo (Figura 33). El esquema de la figura 32 admite variantes (por ejemplo, en lo que se refiere al intercambio, se puede ensayar, para una solución, todos los intercambios posibles y

Figura 33. Ejemplo de aplicación del algoritmo heurístico descrito en la figura 32. La solución obtenida no es óptima; existe, al menos, otra mejor (asignar las instalaciones 1 a 6, respectivamente, a los emplazamientos 2, 6, 3, 1, 4, 5), con un coste de 117, que se obtiene al aplicar la variante del algoritmo a que se hace referencia en el texto (en este caso, los intercambios, a partir de la misma solución inicial, son: 2 y 5, con una reducción de coste de 8, — y 3 y 5, con una reducción de 7).

D

0	4	2	1	2	3
4	0	1	2	1	2
2	1	0	5	2	1
1	2	5	0	1	2
2	1	2	1	0	1
3	2	1	2	1	0
12	10	11	11	7	9

W

0	4	6	2	4	9
4	0	4	2	7	8
6	4	0	2	2	6
2	2	2	0	6	2
4	7	2	6	0	10
9	8	6	2	10	0
25	25	20	14	29	35

Orden de las instalaciones	6	5	1	2	3	4
Orden de los emplazamientos	5	6	2	3	4	1

Solución inicial :

I_1 en E_2 , I_2 en E_3 , I_3 en E_4
I_4 en E_1 , I_5 en E_6 , I_6 en E_5

Coste : 132

Intercambios

I_2 e I_5 Reducción de coste : 8
I_1 e I_6 Reducción de coste : 2

Solución final :

I_1 en E_5 , I_2 en E_6 , I_3 en E_4
I_4 en E_1 , I_5 en E_3 , I_6 en E_2

Coste : 122

Copyrighted material

Distancia límite : 40 km
⌗ Indica que el núcleo no tiene emplazamientos disponibles

Núcleo	Puede recibir servicio desde :					
1	1	2	3	4		
2	1	2	3			*
3	1	2	3	4	7	
4	1	3	4	6	7	
5	6					*
6	4	6	10			
7	3	4	7			*
8	8	10				*
9	4	6	7	10		
10	6	8	10			

Soluciones óptimas :

3 , 6 , 8

3 , 6 , 10

Figura 34. Un problema de cubrimiento. Se trata de determinar, en número mínimo, los emplazamientos de unos centros de servicio para que cada núcleo tenga al menos un centro a una distancia no superior a un cierto límite (40 km en este caso).

modificarla a través del mejor de todos ellos; esta variante es algo más lenta pero normalmente conduce a mejores resultados).

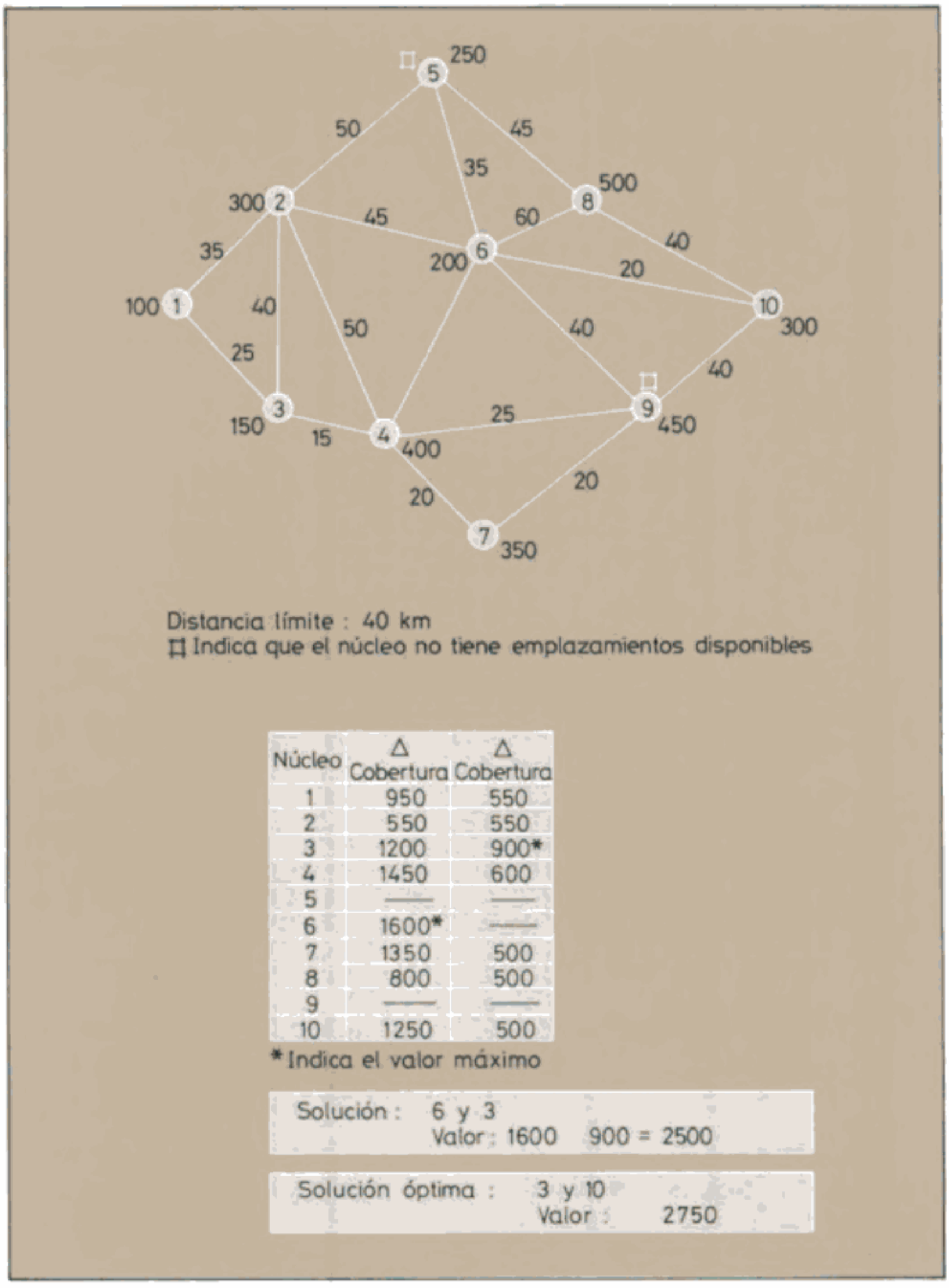
Cubrimiento

En la localización de servicios, principalmente, se puede presentar el problema de determinar cuántas instalaciones hay que disponer y dónde, con la condición de que todo cliente o usuario se encuentre a una distancia no superior a una dada de alguna de las instalaciones y con el objetivo de minimizar el número de las instalaciones o su coste.

Copyrighted material

La resolución de este problema, en el caso general, no es fácil y exige la utilización de técnicas tales como la programación lineal binaria o los procedimientos de separación y acotación. Pero cuando no es de grandes dimensiones se puede hallar la solución óptima sin gran esfuerzo, a veces por simple enumeración o a lo sumo con la ayuda de alguna consideración sencilla.

Figura 35. Una variante del problema de la figura 34. Aquí se trata de cubrir la máxima clientela potencial con un número de centros prefijado (2 en este caso).



Distancia límite : 40 km
□ Indica que el núcleo no tiene emplazamientos disponibles

Núcleo	Δ Cobertura	Δ Cobertura
1	950	550
2	550	550
3	1200	900*
4	1450	600
5	——	——
6	1600*	——
7	1350	500
8	800	500
9	——	——
10	1250	500

*Indica el valor máximo

Solución : 6 y 3
Valor : 1600 900 = 2500

Solución óptima : 3 y 10
Valor : 2750

La figura 34 recoge un ejemplo de este problema de cubrimiento. Los círculos representan núcleos de población y los valores junto a los segmentos que enlazan los círculos, distancias en km entre los mismos. Supóngase que se trata de determinar el número (que se desea minimizar)

Copyrighted material

y la localización de unos centros de asistencia técnica para los clientes de un fabricante de equipos industriales de forma que ningún cliente se encuentre a más de 40 km del centro de asistencia más próximo.

El ejemplo podría resolverse enumerando las combinaciones de 1, 2,... elementos hasta encontrar una que cumpliera con la condición expresada. Este procedimiento se haría prohibitivo a poco que aumentaran las dimensiones del problema.

Una idea que ya permite resolver problemas de mayor envergadura es la siguiente. Para cada núcleo de población se establece la lista de emplazamientos desde los que el núcleo podría ser servido (ver tabla en la figura 34); a continuación se determina para cuáles de dichas listas no existe en la tabla ninguna otra lista que sea un subconjunto propio de las mismas (son las señaladas con un asterisco en la tabla). Es condición necesaria y suficiente para que una lista de emplazamientos sea una solución del problema que contenga al menos un elemento de cada una de las listas marcadas; esta consideración permite reducir, a veces notablemente, la exploración de soluciones (obsérvese, además, que normalmente resultarán elegidos aquellos emplazamientos que figuran en un mayor número de listas marcadas).

Se presenta una variante de este problema al considerar fijo el número de centros. Se trata entonces de determinar los emplazamientos que permiten cubrir la máxima clientela potencial (es decir, se trata de maximizar el número de clientes potenciales situados a una distancia no mayor que una dada). La figura 35 reproduce el gráfico de la figura anterior pero incluye junto al círculo representativo de cada núcleo de población el número de clientes potenciales que le corresponde.

Un algoritmo heurístico muy sencillo (debido a Church y ReVelle) permite hallar rápidamente una solución aproximada. Consiste en lo siguiente: en cada iteración se elige un emplazamiento no elegido anteriormente, con el criterio de que sea aquél a que corresponde un mayor incremento en la clientela potencial cubierta, en relación a la ya cubierta por los emplazamientos elegidos en iteraciones anteriores; el algoritmo finaliza cuando el número de emplazamientos elegidos es igual al previamente fijado o cuando con los emplazamientos elegidos se cubre ya toda la clientela potencial. Las tablas incluidas en la propia figura 35 corresponden a la aplicación de este algoritmo a los datos del problema planteado en la misma, con la misma distancia límite (40 km) que en el ejemplo anterior y con un máximo de dos centros; el algoritmo de Church y ReVelle no da el óptimo (como puede verse en la figura), a pesar de que se trata de un caso sencillo.

Copyrighted material

Distribución en planta

INTRODUCCIÓN

Concepto. Puntos de contacto y diferencias entre las decisiones de localización y las de distribución

No existe una frontera bien definida entre los problemas de localización y los de distribución en planta. De hecho, algunos de los ejemplos presentados en el apartado sobre localización (ver figuras 28, 29 y 30) son problemas sencillos de distribución en planta.

En el fondo, diseñar una distribución en planta consiste en determinar la posición, en cierta porción del espacio, de los diversos elementos que integran el proceso productivo. Se trata, por tanto, de un problema de localización, pero especialmente complejo por el elevado número de unidades a tener en cuenta y porque hay interacción entre ellas.

Pero existen, además, diferencias cualitativas. Por una parte, en las distribuciones en planta es esencial tener en cuenta explícitamente la extensión, e incluso la forma, de los elementos que intervienen, mientras que en los problemas de localización este aspecto no se considera o se trata, como se ha visto, de forma muy esquemática. Por otra, para las decisiones de localización los emplazamientos son un dato, en tanto que, muchas veces, cuando se trata de determinar una distribución en planta se ignora la forma y características del edificio, puesto que ello es precisamente uno de los resultados del estudio de la distribución.

Finalmente, los criterios para evaluar y comparar distribuciones en planta no son, como es lógico, los mismos que se utilizan en las decisiones de localización.

En definitiva resulta que el diseño de una distribución en planta es un problema muy complejo, que exige la intervención de especialistas en disciplinas diversas. No basta un conocimiento de los métodos y las técnicas específicos de la distribución, sino que se necesita información sobre el proceso y sobre los equipos para llevarlo a cabo (muy especialmente sobre los de manutención, a los que, por ello, se dedica el capítulo siguiente) y además se ha de atender a diversas exigencias ambientales (iluminación, ventilación, etc.) e incluso estéticas. Desde luego, para abordar con perspectivas de éxito distribuciones en planta de envergadura una amplia experiencia debe considerarse como requisito.

Algunas clasificaciones de los problemas de distribución en planta

La variedad de sistemas y de circunstancias induce una gran diversidad en los problemas de distribución en planta.

Copyrighted material

Dichos problemas pueden clasificarse en atención al tipo de sistemas o subsistema productivo de que se trate. Desde este punto de vista cabe distinguir entre distribuciones en planta de *oficinas,* de *almacenes,* de *venta,* de *servicios* y de *producción,* en sentido estricto. A estas últimas se refiere, con preferencia, este texto, pero la mayor parte de conceptos son aplicables también a los otros tipos de distribución, sin perjuicio de aquello que tengan de específico. Una distribución en planta para almacenamiento debe permitir itinerarios simples y poco costosos y facilitar la rotación de los stocks; el apartado sobre localización incluye diversos modelos que pueden ser útiles para determinar distribuciones adecuadas en almacenes. En los establecimientos de venta al público, especialmente en los que funcionan en régimen de autoservicio, como los supermercados, la distribución en planta ha de facilitar la tarea de los compradores, pero debe ser también un factor de estímulo de las ventas.

En las distribuciones en planta para sistemas productivos (en el sentido más estricto y excesivamente restrictivo de este término: transformación y montaje) se puede distinguir entre las siguientes:

- de *proyecto singular,*
- de *posición fija,*
- por *grupos de trabajo,*
- por *proceso* u *orientadas al proceso,*
- por *producto* u *orientadas al producto.*

En el caso de proyecto singular se trata de un conjunto de actividades con algún o algunos aspectos irrepetibles, como ocurre en la construcción de una carretera o la de una presa. Obsérvese que estos dos ejemplos presentan algunas diferencias significativas: en la construcción de una carretera algunos elementos tendrán, dentro de ciertos límites, posiciones fijas a lo largo de toda la realización del proyecto (por ejemplo, la zona de clasificación y almacenaje de áridos, la planta asfáltica, etc.) en tanto que otros (la maquinaria para el movimiento de tierras, etc.) se desplazan a medida que progresan los trabajos; en cambio, en la construcción de una presa predominan los elementos que se sitúan en posiciones fijas o que varían poco.

El ejemplo de la presa tiene muchos puntos de contacto con las distribuciones en planta de posición fija (astilleros, montaje de aviones o proyectiles dirigidos de grandes dimensiones, *plató* cinematográfico, etc.). Estas tienen la característica común de que con ellas se puede obtener, a lo largo del tiempo, un número elevado de unidades de producto, lo que, por otra parte, es una condición necesaria para su rentabilidad. Por lo demás, pueden presentar diferencias significativas ya que, por ejemplo, las exigencias no son las mismas cuando se trata de producir unidades idénticas que cuando hay variaciones más o menos importantes de unas unidades a otras.

No es éste el lugar adecuado para una discusión extensa sobre los motivos que han impulsado la organización del trabajo en grupos autónomos, pero probablemente el más importante de todos ellos es la capacidad de esta forma de organización para adaptarse a situaciones nuevas. El concepto pareció implantarse con fuerza hace al menos dos décadas y tuvo inicialmente menos éxito del que se le auguró, más últimamente

Copyrighted material

parece cobrar nuevos bríos a la par que crece la exigencia de flexibilidad para una buena parte de los sistemas productivos. Por supuesto, esta forma de organización tiene implicaciones en lo que respecta a la distribución en planta (en muchos casos la disposición recordará la de una distribución por posición fija repetida en cierto número de veces).

En las distribuciones en planta orientadas al proceso, los componentes del sistema productivo se agrupan de acuerdo con la función que desempeñan (un taller mecánico que produce piezas bajo pedido, un taller de reparación de vehículos, un hospital, etc. suelen tener distribuciones en planta de este tipo). El movimiento de materiales resulta en general complejo y caro pero se obtiene así flexibilidad y fiabilidad.

En las orientadas al producto, los elementos que integran el sistema se disponen a lo largo de la trayectoria que siguen los materiales, desde que se inicia el proceso hasta que se obtiene el producto terminado. Estas distribuciones en planta son las características de productos de gran serie (como los automóviles o los electrodomésticos) pero hay otros ejemplos menos obvios o menos conocidos, como los restaurantes de autoservicio (sistema de montaje flexible con manutención llevada a cabo por el propio cliente) o los quirófanos para operaciones estándar (curación de la miopía por medio de microincisiones en la córnea). En cualquier caso, los movimientos son sencillos y baratos, pero el sistema a veces es poco flexible y en general es poco fiable, salvo que, a costa de una mayor inversión, se disponga de elementos redundantes.

La clasificación de distribuciones en planta de sistemas productivos que se acaba de comentar resulta algo incompleta y, por otra parte, atiende casi exclusivamente a un aspecto, a saber, el movimiento de materiales, que puede ser el más importante pero que no es desde luego el único. De todas formas, se volverá sobre ello más adelante.

UN MÉTODO PARA EL DISEÑO DE DISTRIBUCIONES EN PLANTA

Descripción general

Sólo con lo dicho hasta aquí debe estar claro que el diseño de una distribución en planta es un proceso largo y complejo, en el que hay que tener en cuenta un gran número de aspectos y de criterios, por lo que no cabe esperar que existan recetas o procedimientos más o menos automáticos o automatizables para resolver el problema. Pero, por los mismos motivos, es obvia la necesidad de disponer de un método, de un camino a seguir, una forma ordenada y sistemática de proceder para alcanzar el fin perseguido. Una vez más, la adopción de un punto de vista cartesiano para abordar un problema de organización se revela altamente fructífera.

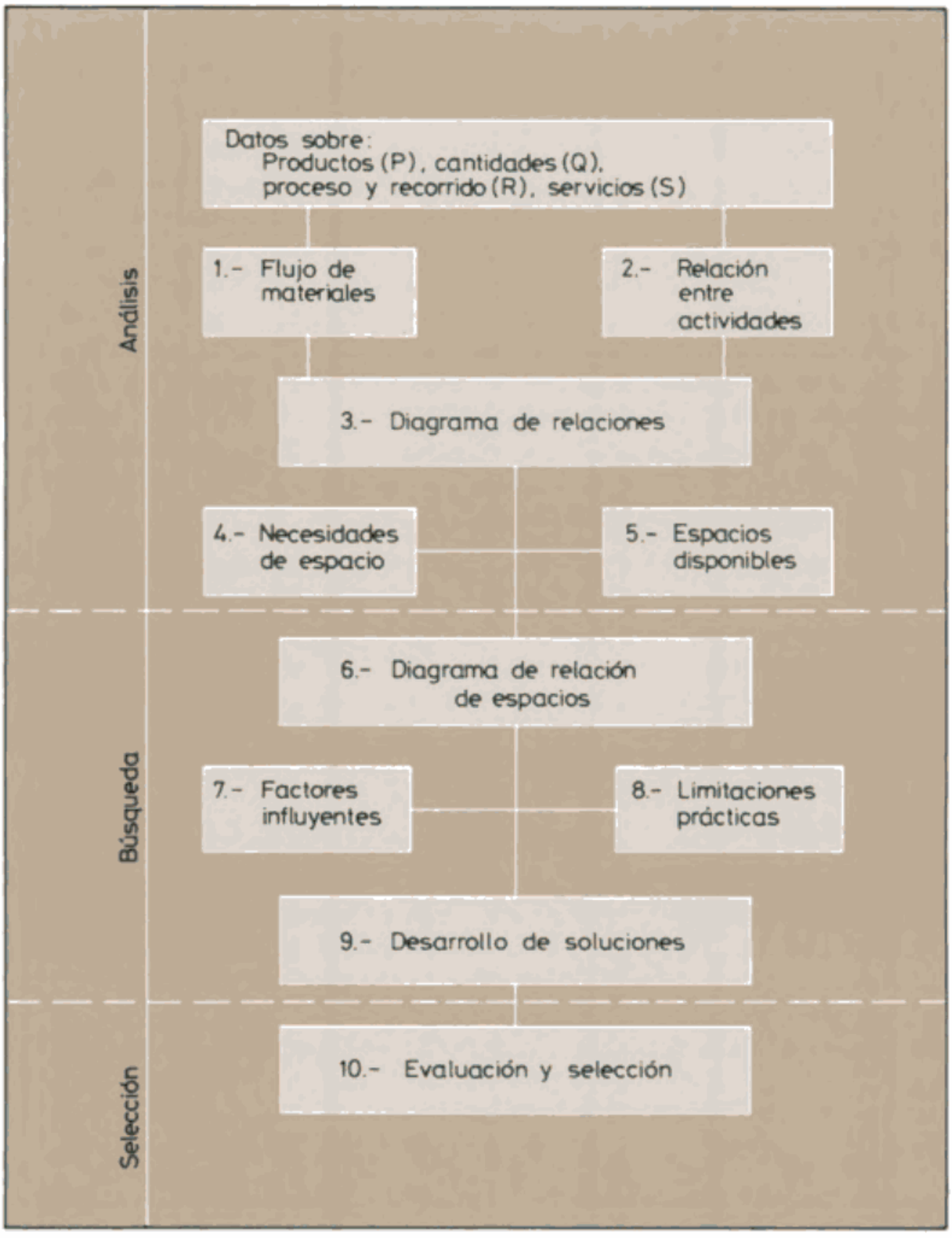
Como sucede en problemas de análoga complejidad (piénsese en el análisis de sistemas de información) no existe un único método, un único camino y, por otra parte cabe la posibilidad, incluso para una aplicación concreta, de establecer variantes más o menos importantes del método adoptado. Pero es importante que uno sirva de base y de ellos el más conocido es sin duda, y con mucho, el SLP (de *Systematic Layout Planning*), debido a Richard Muther, que ha tenido numerosas aplicaciones y ha sido descrito en diversas publicaciones.

Copyrighted material

El diagrama de bloques de la figura 36 da una visión general del SLP.

El estudio empieza con la recogida de información sobre productos, cantidades, proceso y servicios. Esta información deberá incluir los datos referentes al momento actual, si se trata de un sistema productivo en funcionamiento, pero en cualquier caso debe incluir elementos que permitan efectuar previsiones.

Figura 36. Esquema general del método S.L.P.



Con esta información, se procede, por una parte, al estudio de la circulación de materiales (bloque 1) y, por otra, al de las relaciones entre actividades que no implican movimiento de materiales o en que este movimiento es insignificante (bloque 2). La importancia relativa de ambos aspectos es muy variada; desde sistemas como los procesos de manufac-

Copyrighted material

tura en que el movimiento de materiales es predominante hasta otros como una oficina en que tiene muy poca importancia o incluso es prácticamente inexistente.

Ambos estudios confluyen en la actividad correspondiente al bloque 3 del diagrama: establecer el denominado diagrama de relaciones, un instrumento para expresar sintéticamente la evaluación de la importancia de los intercambios entre los diversos centros de actividad.

El diagrama de relaciones no incluye ninguna estimación de las necesidades de espacio. Éstas han de ser evaluadas (bloque 4) y también se ha de tener en cuenta, naturalmente, el espacio disponible (bloque 5) para establecer el diagrama relacional de espacios (bloque 6) que incorpora al diagrama de relación información sobre la superficie que deberá ser asignada a cada centro de actividad.

El diagrama de relación de espacios es la base para generar diversas distribuciones en planta (bloque 9), para lo que se habrá de considerar los factores influyentes y las limitaciones prácticas (bloques 7 y 8, respectivamente).

Aunque más adelante se volverá sobre ello, conviene señalar aquí la importancia de obtener un cierto número de soluciones suficientemente variadas. Ni siquiera en los casos más simples un problema de distribución en planta tiene una solución única y la calidad de unas u otras puede ser muy distinta; una solución mala puede parecer en un momento dado la mejor posible porque se ha elegido mal el esquema básico de la distribución y no han sido consideradas otras opciones.

Finalmente, se procederá a la selección de una distribución (bloque 10) entre las obtenidas en la fase anterior. En el conjunto, cabe distinguir tres fases: la de análisis (bloques 1 a 5), la de búsqueda (bloques 6 a 9) y la de selección, constituida por el bloque 10.

El diagrama no refleja una importante característica del SLP. a saber su carácter jerárquico. En definitiva lo que se ha descrito hasta aquí es un procedimiento para asignar espacios a lo que se ha denominado, sin precisar el alcance de esta expresión, centros de actividad. Tales centros pueden ser desde grandes departamentos o secciones hasta puestos de trabajo, pero en un sistema de grandes dimensiones no es posible ni conveniente entrar directamente en la consideración de los centros de trabajo, puesto que de esta forma los árboles impedirían la visión del bosque y, por añadidura, el volumen de información a manejar simultáneamente sería excesivo. De ahí que en general el SLP (y cualquier otro método para diseñar distribuciones en planta) deba aplicarse en fases jerarquizadas, en cada una de las cuales el detalle es mayor que en la anterior.

Dada esta visión de conjunto del SLP, se puede describir a continuación con mayor detalle cada uno de sus pasos principales. Desde luego, la exposición se basa, en sus líneas generales, en las publicaciones del propio Muther pero no necesariamente coincide con ellas en todos los aspectos, no porque se cuestione aquí la validez del SLP sino porque el mismo método, en tanto que marco general, es flexible y admite variantes en diversos puntos.

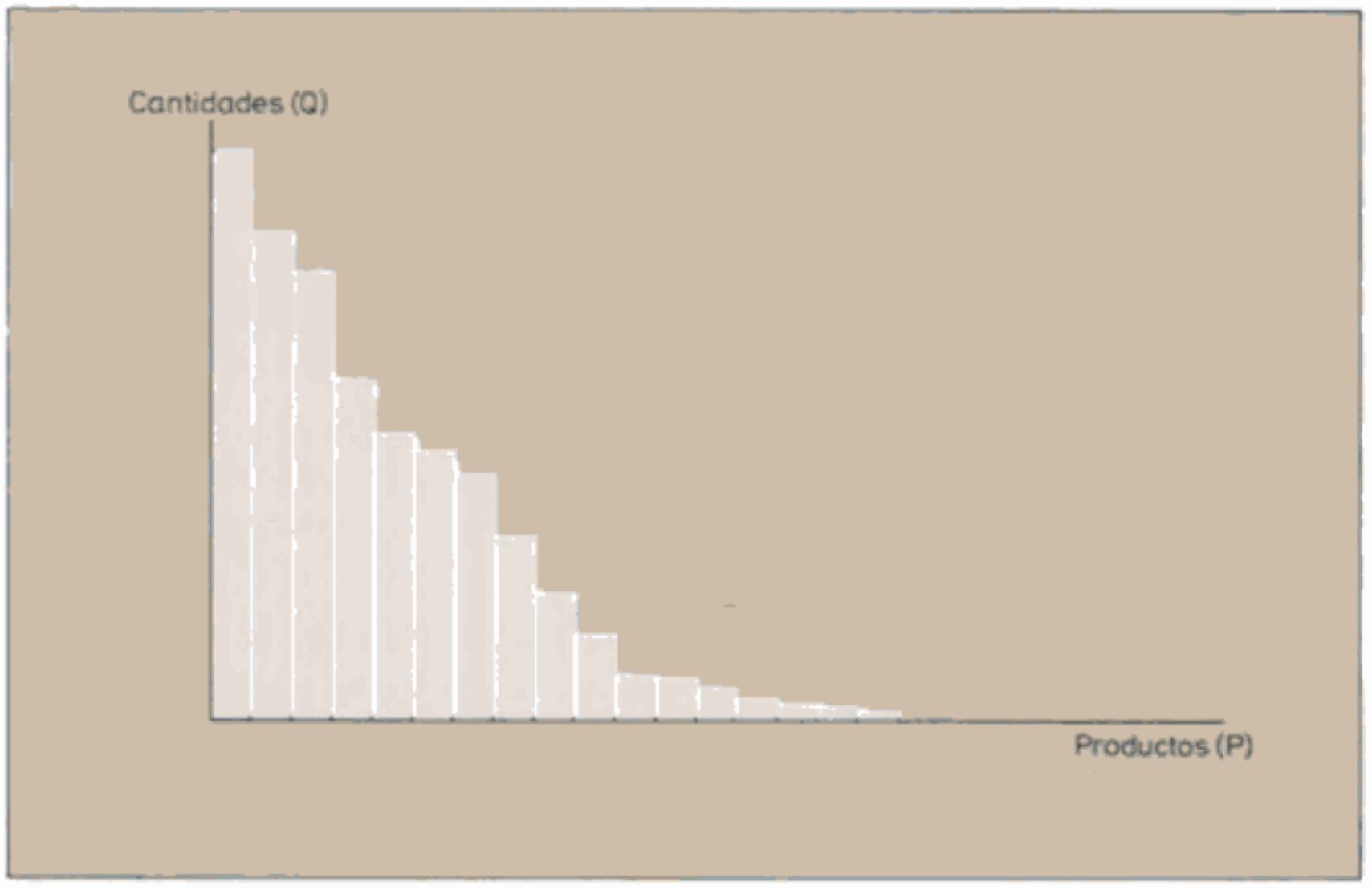
Copyrighted material

Recogida y análisis de información sobre el volumen de producción

Lógicamente, el primer paso en el proceso de diseño de una distribución en planta es conocer qué se ha de producir y en qué cantidades. Puesto que una distribución en planta no es efímera y cambiarla o ampliarla es costoso, especialmente si la modificación no ha sido prevista en el diseño inicial, se ha de disponer de previsiones para cierto horizonte temporal.

No cabe entrar aquí, ni siquiera someramente, en un estudio de los métodos y técnicas de previsión, pero hay que señalar que los procedimientos basados en la proyección de datos históricos, que se emplean, por ejemplo, en las previsiones de ventas a corto plazo, serán insuficientes, e incluso francamente inadecuadas, en muchos casos, especialmente en distribuciones en planta de gran envergadura, planteadas a plazo largo, en las que la previsión deberá basarse, sobre todo, en las tendencias económicas y tecnológicas y en la estrategia de la propia empresa para el horizonte que se contemple.

Figura 37. Gráfico P-Q.



En cuanto al volumen de la información, pueden presentarse situaciones muy variadas porque el número de productos puede ir desde uno solo hasta varios miles. Si la gama es muy amplia, convendrá formar grupos de productos similares, no sólo para facilitar el tratamiento de la información y la formulación de previsiones, sino también porque las previsiones para un sólo producto pueden ser poco significativas (incluso puede darse el caso de que muchos productos dejen de fabricarse a más o menos corto plazo y sean substituidos por otros dentro de un mismo grupo).

De todos modos, la mayor o menor agregación de los productos ha de ser función de su peso relativo en el conjunto, tanto por lo que se refiere a la cantidad como al valor, por lo que, para empezar, deberá establecerse una relación de productos con alguna indicación sobre su importancia. Una vez agrupados, se procederá a realizar previsiones para el horizonte

Copyrighted material

considerado y para cada grupo. El esfuerzo dedicado a efectuar dichas previsiones no tiene por que ser homogéneo; es más lógico, por el contrario, prestar mayor atención a los grupos de productos más importantes.

Finalmente, se procederá a ordenar los grupos de productos según su importancia, de acuerdo con las previsiones efectuadas. Esta ordenación sirve de base para una clasificación de los grupos que determinará un tratamiento diferenciado en etapas posteriores del método.

Todo esto es lo que Muther denomina análisis P-Q (producto-cantidad —*quantity* en inglés—), cuyo elemento principal es el gráfico P-Q. En él las ordenadas corresponden a las cantidades de cada producto o grupo de productos, y éstos figuran en abscisas, según el orden decreciente de dichas cantidades (figura 37).

Desde luego, los gráficos son una ayuda, pero no es ésta la única forma de representación posible. Lo más importante es la idea subyacente al gráfico P-Q y a muchos aspectos de lo expuesto en este apartado, a saber, que cuando se trata de estudiar un conjunto algo numeroso de objetos es conveniente clasificarlos de acuerdo con su importancia y dedicar al tratamiento de cada uno de los grupos así formados recursos proporcionados a dicha importancia. Esto parece trivial, pero al parecer no es obvio, puesto que, espontáneamente, no todo el mundo procede así. Obsérvese que esta misma idea está en la base de la que se suele denominar curva ABC (que interviene en la gestión de stocks o en el análisis diversificación/simplificación de productos) o del gráfico que se utiliza en la gestión de la calidad para analizar la importancia relativa de los defectos o de las causas

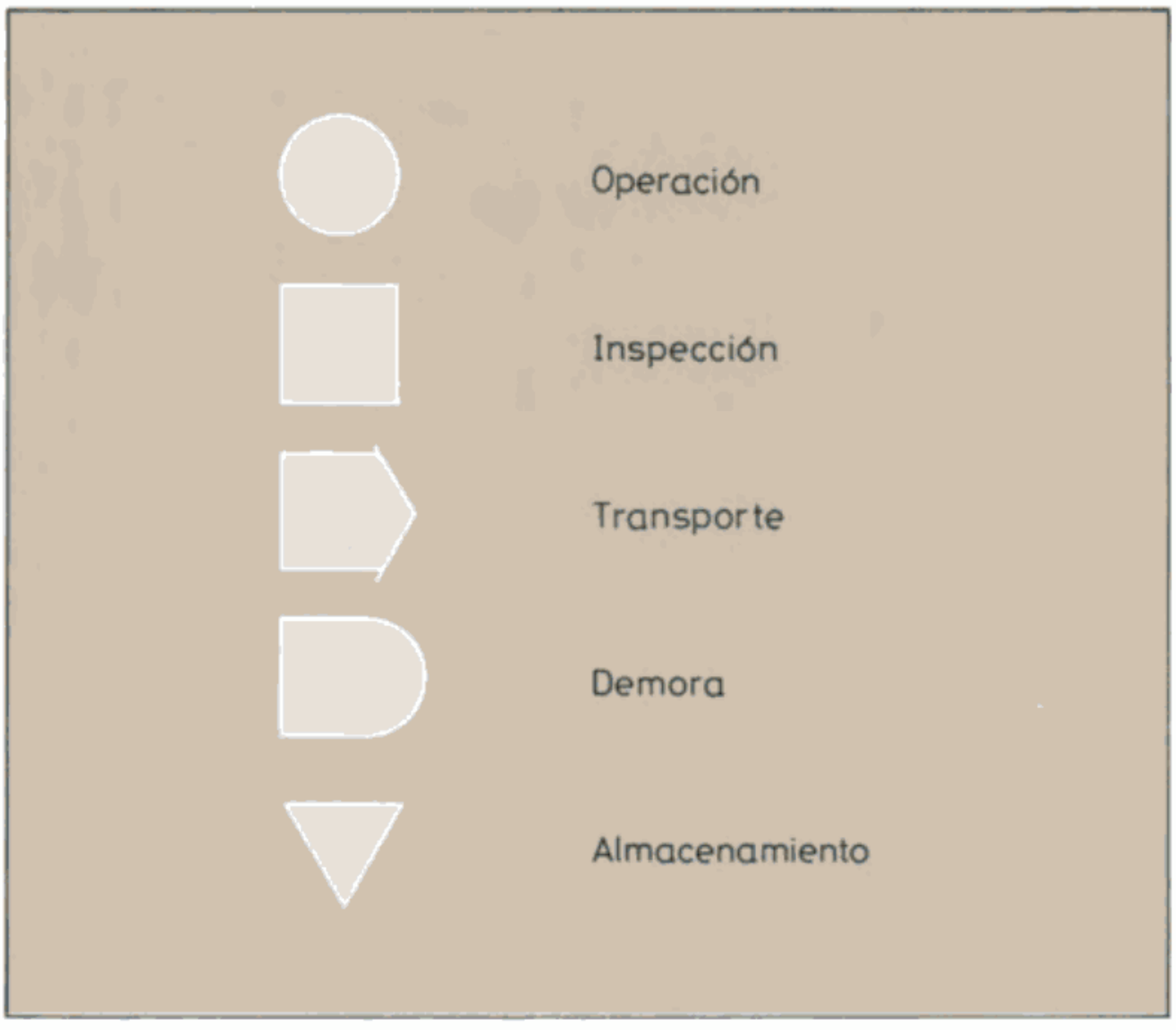


Figura 38. Símbolos de la ASME.

Copyrighted material

de los mismos, y que se denomina entonces curva de Pareto, cuya denominación remite al economista italiano que empleó una curva semejante en sus estudios sobre la distribución de la renta.

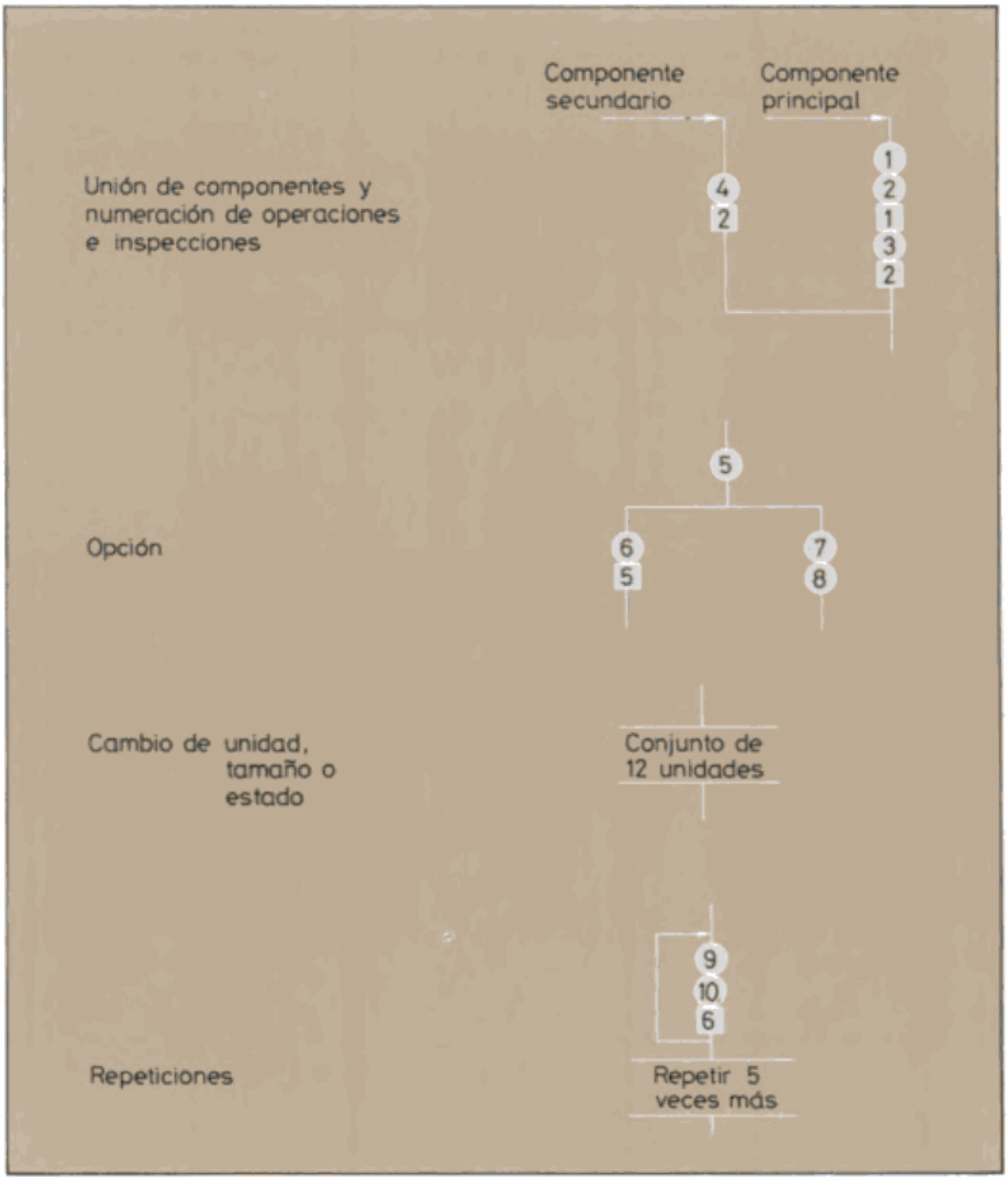
Movimiento de materiales

Aunque, como se ha dicho, no es el único aspecto a tener en cuenta al diseñar la distribución en planta y muchas veces no es ni siquiera el más importante, no cabe duda de que en las industrias de transformación y montaje el movimiento de materiales es la clave del planteamiento.

Símbolos y diagramas

Para su estudio se ha de partir de la descripción del proceso, para la cual es indispensable utilizar instrumentos adecuados. Tales instrumentos no son privativos de los estudios de distribución en planta; al contrario, son o

Figura 39. Representaciones convencionales en los diagramas de operaciones.



Copyrighted material

pueden ser los mismos que se utilizan, ya con una larga tradición, en los estudios de métodos.

Hay una amplia variedad de símbolos, gráficos y tablas, que muchas veces pueden adaptarse a las necesidades de una aplicación concreta sin alterar sus características esenciales. Se elegirá en cada caso el instrumento adecuado al nivel de detalle que se desee y al objetivo que se persiga. Aquí no se trata de hacer una exposición sistemática sobre tales herramientas, más propia de un trabajo sobre estudio de métodos, pero parece indispensable describir las que con mayor frecuencia serán utilizadas en un estudio de distribución en planta.

Figura 40. Un ejemplo de diagrama de operaciones.

Los símbolos más empleados son los de la ASME (asociación estadounidense de ingenieros mecánicos), que aparecen en la figura 38. De ellos, sólo dos, los de operación e inspección o control (y tal vez el de almacenamiento) aparecen en el denominado *diagrama de operaciones* (o *cursograma sinóptico* según el libro de la O.I.T. que se cita en la bibliografía); la figura 39 proporciona los elementos para la interpretación de tales diagramas y en la figura 40 puede verse un ejemplo de los mismos. Lo esencial de los diagramas de operaciones son los símbolos, las líneas que los unen y las descripciones que los acompañan, pero pueden y suelen incluir información complementaria (por ejemplo, tiempos, peso o volumen), de acuerdo con los fines perseguidos en cada caso.

El *diagrama de acoplamiento* (figura 41) destaca los subconjuntos que se van formando y reuniendo hasta obtener el producto. Estos diagramas admiten variantes, según incluyan más o menos información sobre las operaciones; el de la figura es, de hecho, una representación de la estructura del producto.

Copyrighted material

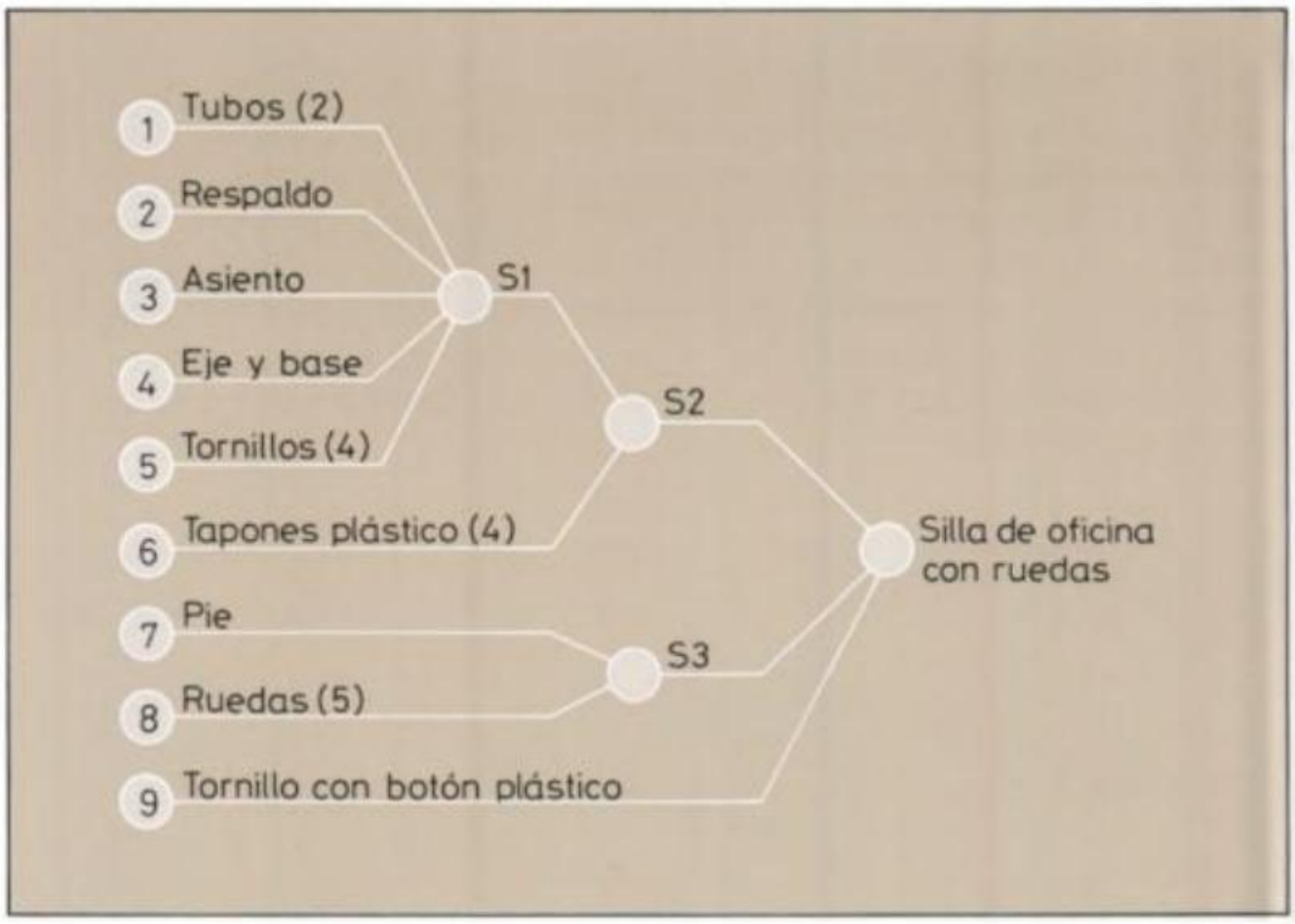


Figura 41. Diagrama de acoplamiento correspondiente a una silla de oficina con ruedas.

En el *diagrama analítico de operaciones del proceso* (*cursograma analítico* en el libro de la O.I.T.) aparecen también los símbolos de transporte y de demora. La presentación de estos gráficos es muy diversa, desde un formato libre que permite dibujar un diagrama de aspecto parecido al de

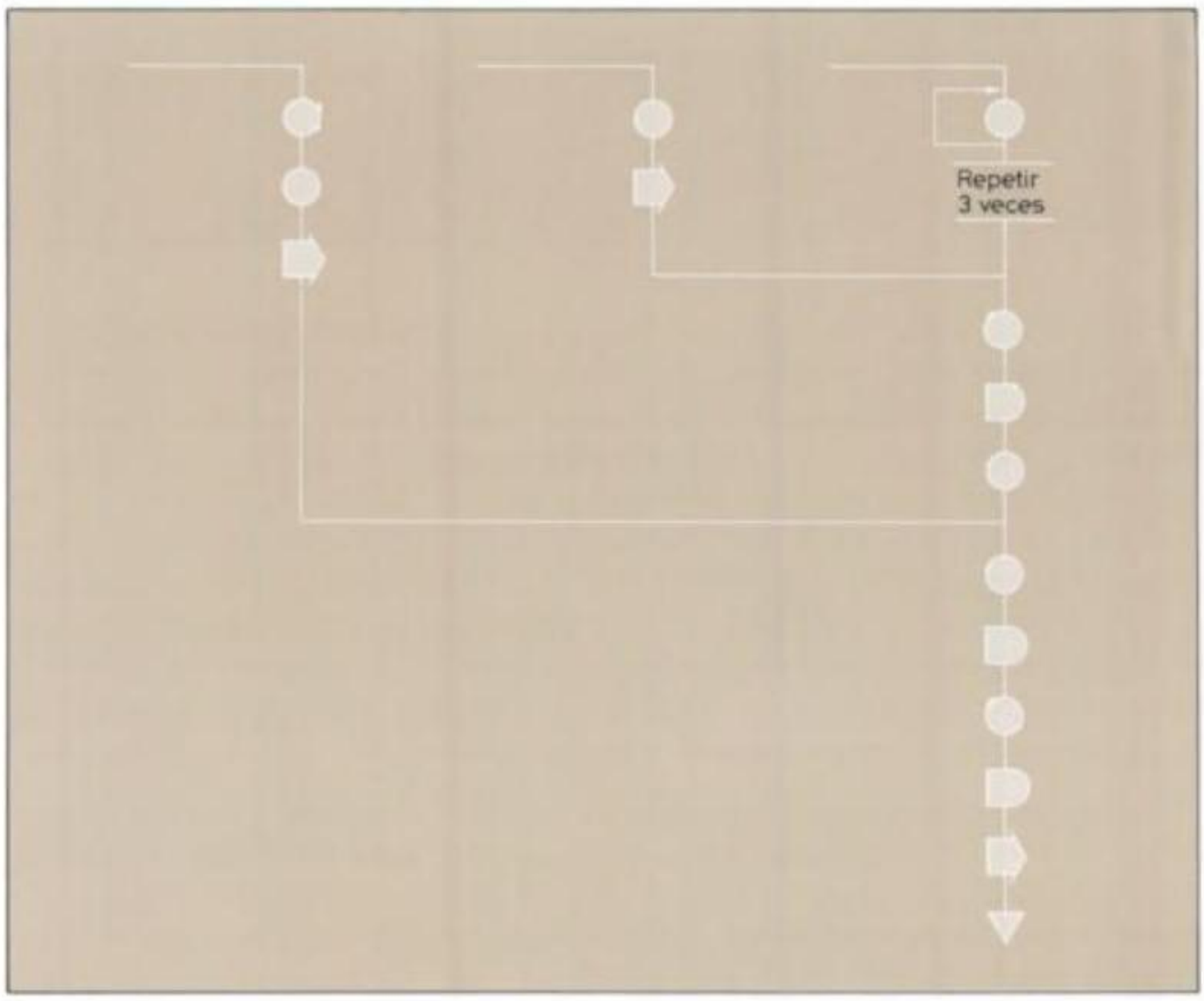


Figura 42. Un esquema de diagrama analítico de operaciones de la figura 40.

Copyrighted material

operaciones, pero con más información (figura 42) hasta impresos (figura 43) que imponen una cierta rigidez pero homogeinizan el aspecto de los diagramas y facilitan su elaboración. Por supuesto, tales diagramas sólo pueden plantearse en relación a una determinada distribución en planta, existente o en proyecto, puesto que la distribución precisamente determina la necesidad de las acciones de transporte y, en parte, las demoras.

CURSOGRAMA ANALITICO — MATERIAL

DIAGRAMA núm 3 — HOJA núm 1

Objeto: *Cajón de piezas BX 487 (10 por cajón, en cajas de cartón)*

ACTIVIDAD: *Recibir, comprobar, inspeccionar y numerar piezas, almacenarlas en cajones*

METODO: ACTUAL

LUGAR: *Departamento de recepción*

OPERARIO(S): FICHA núm. *Véase columna de observaciones*

COMPUESTO POR: FECHA

APROBADO POR: FECHA

R E S U M E N

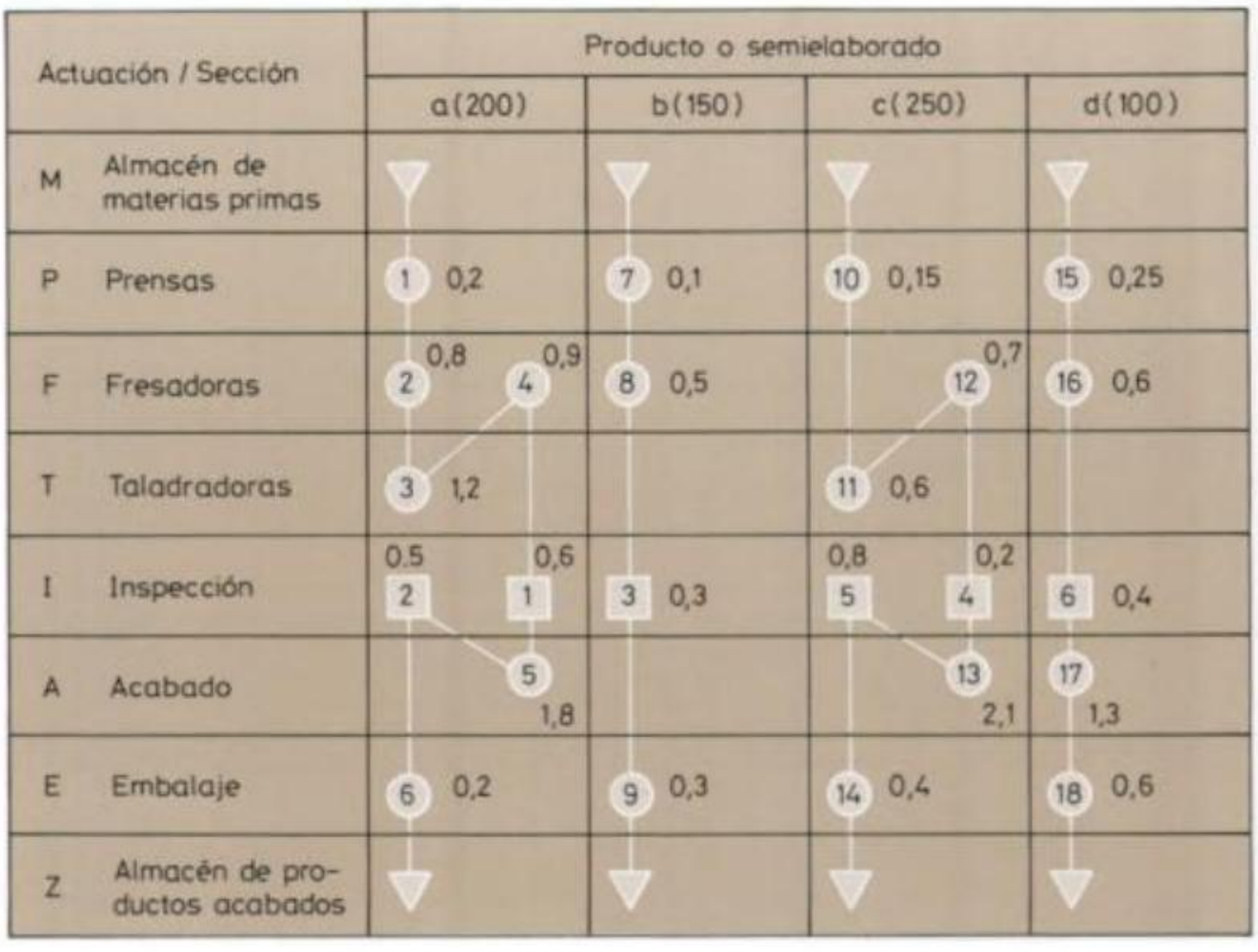
ACTIVIDAD	ACTUAL	PROPUESTA	ECONOMIA
OPERACION ○	2		
TRANSPORTE ⇨	11		
ESPERA D	7		
INSPECCION □	2		
ALMACENAMIENTO ▽	1		
DISTANCIA (metros)	56,2		
TIEMPO (horas-hombre)	1,96		
COSTO por cajón			
MANO DE OBRA	$ 10,19		
MATERIAL	-		
TOTAL	$ 10,19		

DESCRIPCION	CANTIDAD 1 caja	DISTANCIA (m)	TIEMPO (min)	SIMBOLO ○	⇨	D	□	▽	OBSERVACIONES
Sacado de camión, colocado en plano inclinado		1,2							*2 peones*
Deslizado por plano inclinado		6	10						*2 »*
Deslizado hasta almacén y apilado		6							*2 »*
Espera hasta apertura		—	30						
Cajón bajado		—							
Destapado, nota de entrega sacada		—	5						*2 »*
Cajón colocado en carretilla		1							
Acarreado hasta banco de recepción		9	5						*2 »*
Espera hasta descarga de carretilla		—	10						
Cajón colocado en banco		1	2						*2 »*
Cajas cartón extraidas, abiertas, contenido verificado, colocado de nuevo		—	15						*Encargado almacén*
Cajón cargado en carretilla		1	2						*2 peones*
Demora en espera de traslado		—	5						
Cajón acarreado a banco de inspección		16,5	10						*1 peón*
Espera hasta inspección		—	10						*Cajón en carretilla*
Piezas extraidas de cajón y cajas, cotejadas con diseño, embaladas de nuevo		1	20						*Inspector*
Espera del carretillero		—	5						*Cajón en carretilla*
Cajón acarreado a banco de numeración		9	5						*1 operario*
Espera para ser numerado		—	15						*Cajón en carretilla*
Piezas extraidas de cajón y cajas, numeradas y embaladas de nuevo		—	15						*Peón de almacén*
Espera del carretillero		—	5						*Cajón en carretilla*
Cajón llevado al lugar de distribución		4,5	5						*1 peón*
Puesto en depósito									
TOTAL ...		56,2	174	2	11	7	2	1	

Figura 43. Un diagrama analítico de la recepción, inspección y numeración de piezas en el almacén de una empresa de construcciones mecánicas. Fuente: O.I.T. Introducción al estudio del trabajo.

Copyrighted material

Figura 44. Diagrama multiproducto. Los números entre paréntesis que figuran junto a los códigos de producto corresponden a los volúmenes diarios, expresados en alguna unidad homogénea (se supondrá que estos volúmenes no se modifican sensiblemente a lo largo del proceso); los valores que figuran junto a los símbolos de operaciones e inspección indican el número de unidades productivas (máquinas, operarios, etc. según el caso) que se requiere para llevar a cabo la actividad.



De los diagramas descritos hasta aquí no se desprende una distribución en planta, pero indudablemente proporcionan una pauta para su planteamiento. No es difícil, a partir de ellos, establecer puestos de trabajo, líneas

Figura 45. Matriz origen-destino correspondiente a los procesos representados en el diagrama multiproducto de la figura anterior.

De \ A	M	P	F	T	I	A	E	Z
M		a b c d						
P			a b d	c				
F				a	a b c d			
T			a c					
I						a c d	a b c	
A					a c		d	
E								a b c d
Z								

Copyrighted material

de montaje principales y secundarias, áreas para almacenamiento intermedio, etc.

Para los productos más importantes convendrá establecer uno de tales diagramas. Pero si hay muchos productos conviene utilizar para los de menor cuantía, instrumentos de representación más compactos, tal como el *diagrama multiproducto* (del que se recoge un ejemplo en la figura 44) el cual es, por otra parte, una herramienta muy adecuada para tener una visión conjunta de los procesos correspondientes a diversos productos, la cual es especialmente interesante cuando se trata de grupos de productos con procesos similares, ya que entonces puede ser muy conveniente efectuar un planteamiento conjunto de la distribución para todo el grupo. Un poco más adelante se volverá sobre esta idea.

De \ A	P	F	T	I	A	E	Z
M	700						
P		450	250				
F			200	700			
T		450					
I					550	600	
A				450		100	
E							700

Figura 46. Matriz origen-destino análoga a la de la figura 45, pero con los volúmenes totales correspondientes al conjunto de los cuatro productos a, b, c, d.

Otra forma de representación del proceso, que destaca los desplazamientos entre centros de actividad es una matriz en que cada fila y cada columna corresponden a un centro de actividad. Cada casilla de la matriz, salvo las de la diagonal principal, incluye uno o más símbolos o cifras. La matriz de la figura 45 da sobre los desplazamientos entre centros de actividad una información parecida a la contenida en el diagrama multiproducto de la figura 44, pero más ambigua; la de la figura 46, en cambio, contiene en cada casilla el volumen de los movimientos y es una presentación de los datos que resulta cómoda para calcular los costes correspondientes a distintas alternativas de la distribución en planta.

Copyrighted material

En todas las formas de representación mencionada hasta aquí, el aspecto espacial aparece en todo caso de una forma poco explícita. Y por supuesto es esencial en el estudio de una distribución en planta. Este aspecto se refleja directamente en los *diagramas de recorrido* y en los *diagramas de hilos.*

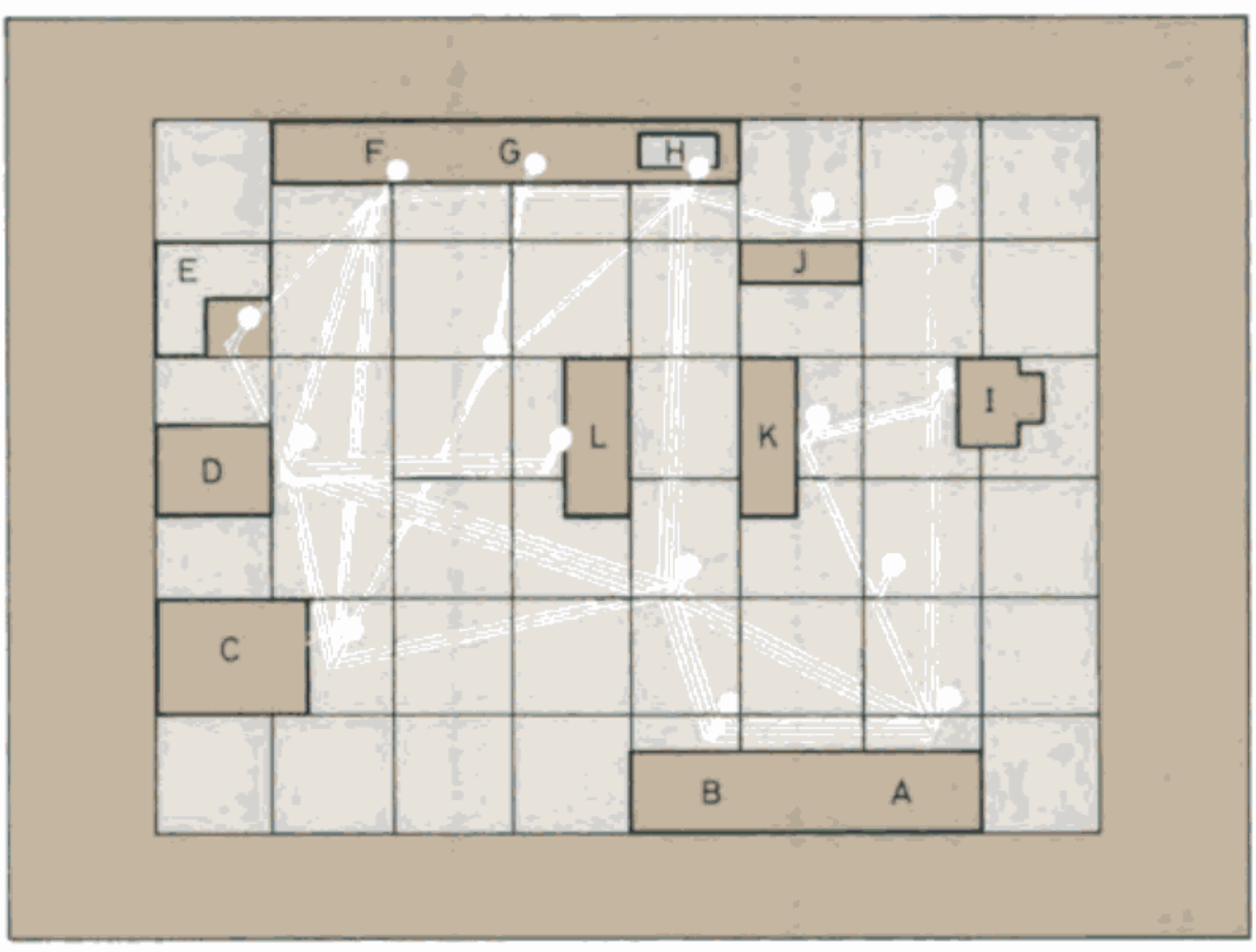


Figura 47. Diagrama de hilos. Fuente: O.I.T. Introducción al estudio del trabajo.

Estos últimos pueden utilizarse en el estudio de una distribución existente; sobre una representación a escala del taller o sección de la empresa que corresponda, con sus elementos principales, las trayectorias observadas se materializan con hilos que pueden ser de diversos colores que se sujetan con agujas. El diagrama de hilos así obtenido (tal como el que se representa en la figura 47) da información sobre las trayectorias, la frecuencia de utilización de los diversos puntos de paso y la posibilidad de interferencias entre distintos flujos.

Los diagramas de recorrido son, de hecho, diagramas analíticos de las operaciones del proceso dibujados sobre representaciones a escala de la sección o secciones donde el proceso se lleva a cabo de tal forma que los símbolos ASME de cada acción se dibujan en la posición del lugar en que se realizan. Las figuras 48 y 49 incluyen, respectivamente, el diagrama de recorrido de un proceso existente (es el mismo que describe la figura 43) y el nuevo planteamiento, obtenido a partir del análisis crítico del anterior; otros ejemplos de diagramas de recorrido aparecerán en figuras posteriores.

Tipos de recorrido

Una vez obtenida y analizada la información sobre el proceso correspondiente a los diversos grupos de productos, cabe establecer un esque-

Copyrighted material

ma del recorrido, que dará una idea de la distribución en lo que se refiere a las secciones implicadas en el movimiento de materiales.

De hecho más que un esquema pueden ser varios porque el análisis P-Q puede haber llevado a la conclusión de que conviene un tratamiento muy distinto para unos u otros grupos de productos (desde puestos de trabajo individuales para artículos de baja producción hasta cadenas de montaje para los de gran volumen de ventas).

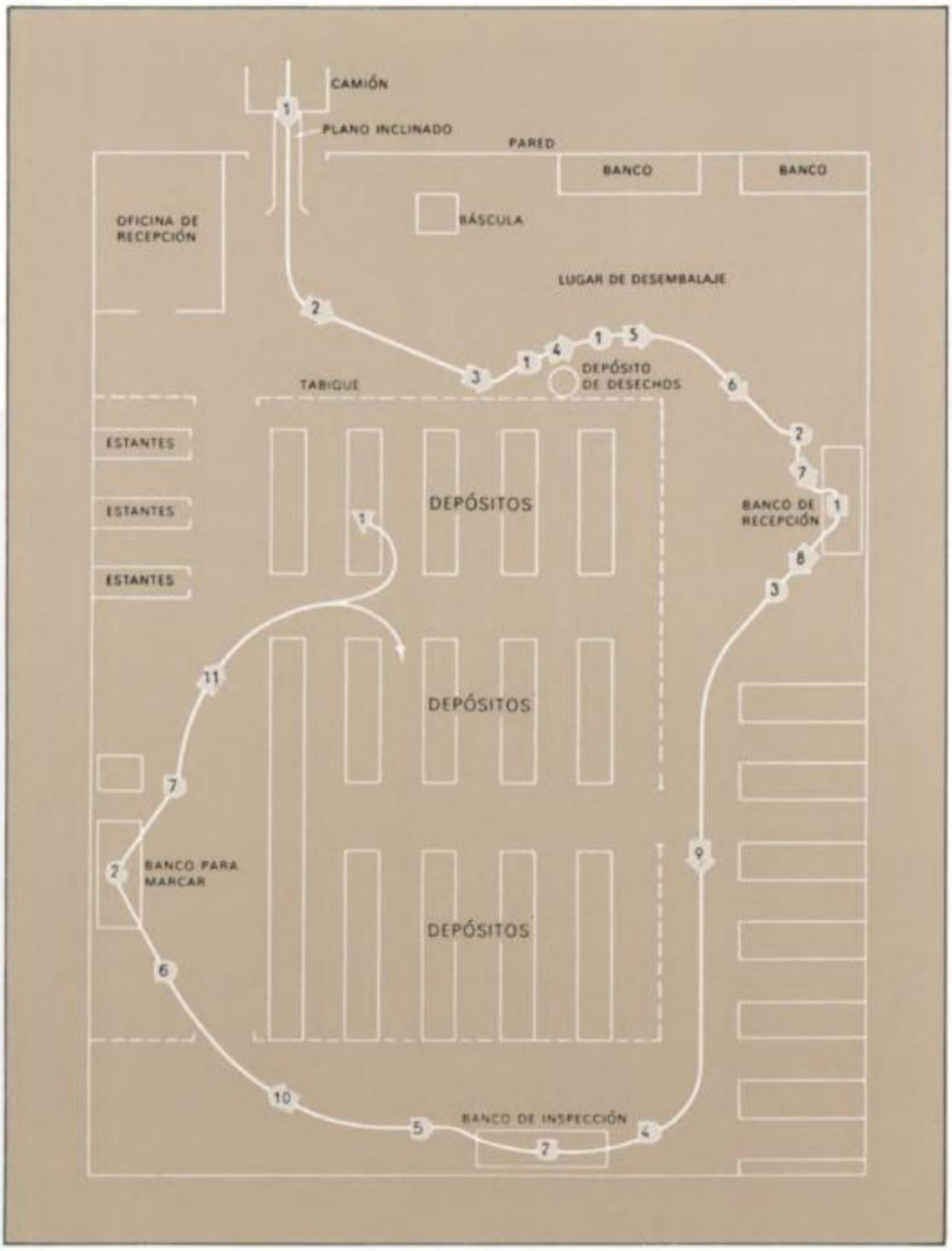


Figura 48. Diagrama de recorrido correspondiente al método antiguo de recepción, inspección y numeración de piezas de la figura 43. Fuente: O.I.T. Introducción al estudio del trabajo.

Antes de entrar en detalles conviene plantearse la forma general de flujo, que condiciona la distribución y que a su vez está condicionado por consideraciones de coste y de disponibilidad de espacio. Las figuras 50 y

Copyrighted material

51 contienen algunos esquemas de flujo horizontal y vertical, respectivamente.

En la introducción a este capítulo dedicado a la distribución en planta ya han sido comentados diversos tipos de distribución, a saber, de *proyecto*

Figura 49. Diagrama de recorrido correspondiente al método nuevo para la recepción, inspección y numeración de piezas a que se refiere a la figura anterior. Fuente: O.I.T. Introducción al estudio del trabajo.

singular, posición fija, por *grupos de trabajo, orientadas al proceso* y *orientadas* al producto. Sin que parezca necesario, por sus características, comentar más ampliamente el primero y el tercero, se puede, en cambio, en este punto, profundizar más en los otros tres. A ellos se refieren, respectivamente, las figuras 52, 53 y 54 que tienen la misma estructura y contienen ventajas, inconvenientes y condiciones en que es conveniente utilizar el tipo de distribución correspondiente.

Copyrighted material

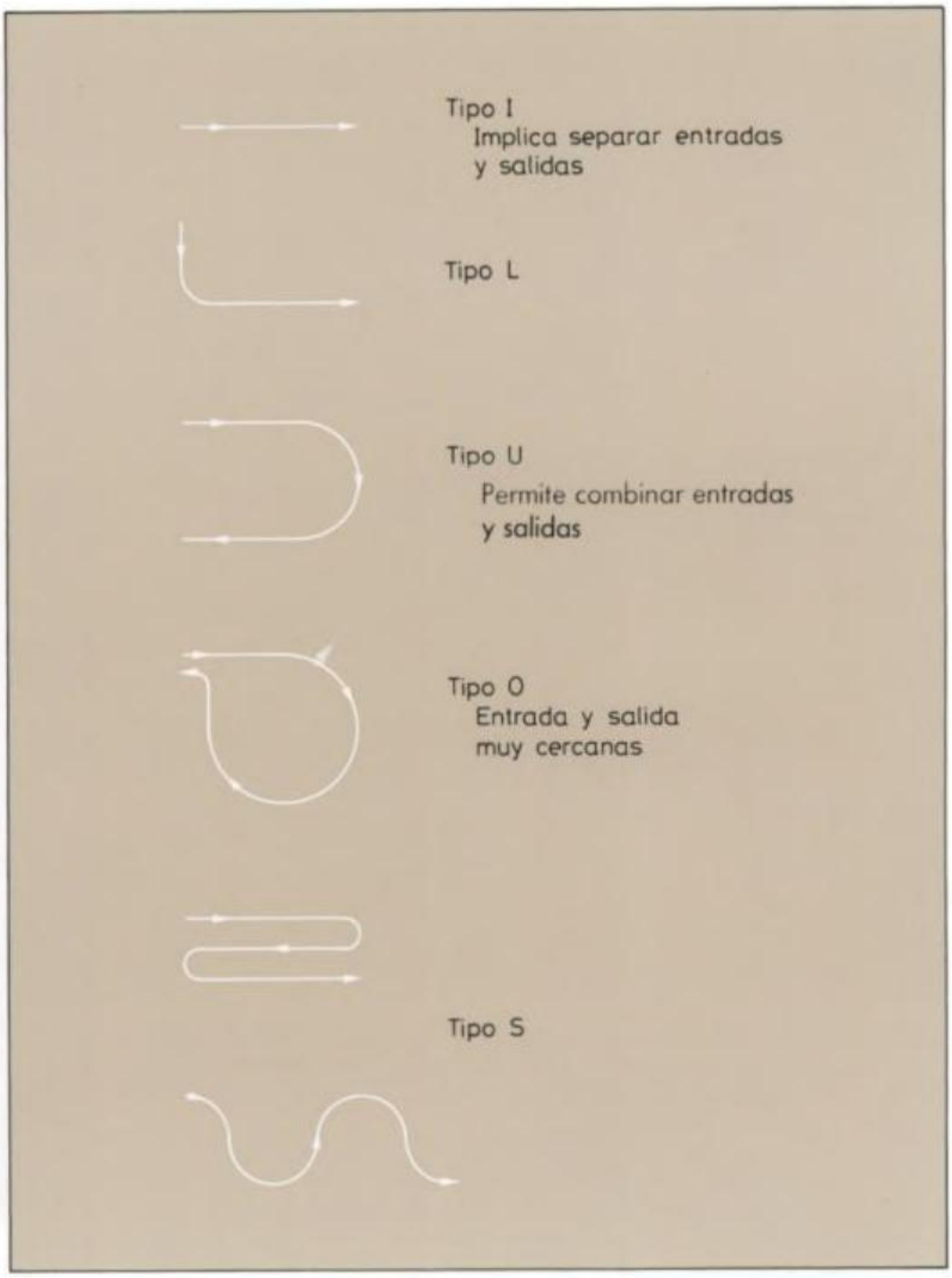


Figura 50. Algunos esquemas de flujo horizontal.

La figura 55 incluye, en relación a los datos incluidos en la figura 44, un ejemplo de distribución orientada al producto con los diagramas de recorrido correspondientes y el cálculo de las unidades productivas necesarias en cada sección (en el supuesto de que no son fraccionables y que, por tanto, si el valor obtenido no es entero se ha de redondear al entero inmediatamente superior).

Incluso con la misma asignación del espacio a las diversas secciones se podría ensayar otras soluciones. Por ejemplo, la operación 16 se podrá efectuar también en F2, pero ello obligaría a asignar una unidad más a esa sección (las necesidades teóricas pasarían de 1,6 a 2,2) (el valor teórico

Copyrighted material

Figura 51. Algunos esquemas de flujo vertical.

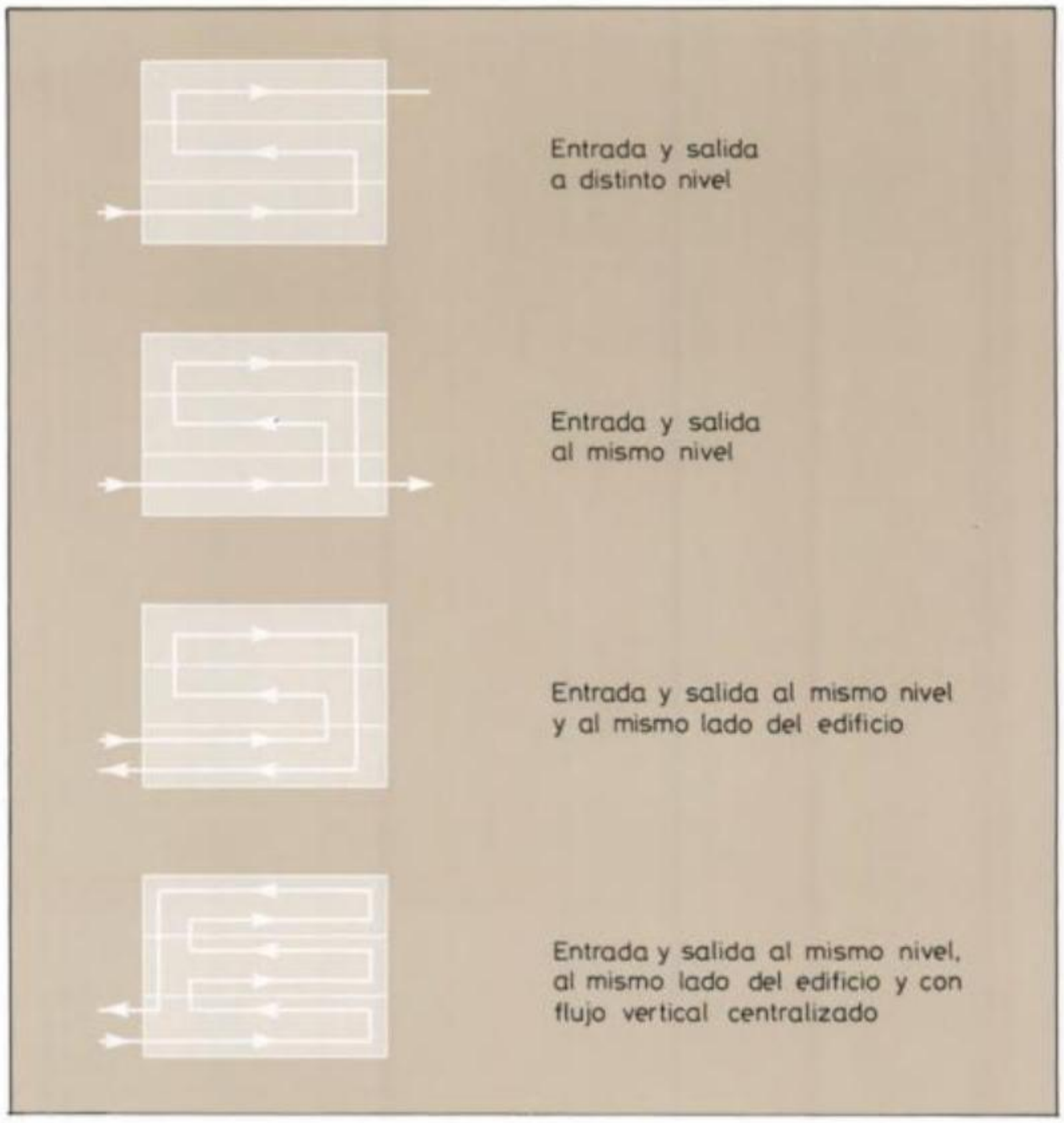


Figura 52. Ventajas e inconvenientes de la distribución por posición fija.

Distribución por posición fija: Ventajas e inconvenientes

Ventas:

- Poca manipulación de la unidad principal de montaje.
- Alta flexibilidad para adaptarse a variantes de un producto e incluso a una diversidad de productos.

Inconvenientes:

- Ocupación de espacio.
- Manutención de las piezas hasta el emplazamiento principal de montaje.
- Dificultad para utilizar equipos difíciles de mover.

Recomendable si:

- El coste de mover la pieza principal es elevado.
- El número de unidades a producir es bajo.
- Las operaciones requieren principalmente trabajo manual o herramientas o maquinaria ligeras.

Copyrighted material

Distribución orientada a proceso: Ventajas e inconvenientes

Ventajas:

- Mayor utilización de los equipos y, por tanto, menor inversión.
- Flexibilidad para cambios en los productos y en el volumen de la demanda.
- Mayor fiabilidad (más fácil mantener el sistema en funcionamiento ante averías, ausencias o fallos en el aprovisionamiento)
- Posibilidad de individualizar rendimientos.

Inconvenientes:

- Manutención cara.
- Alto stock de materiales en curso de elaboración.
- Programación compleja.

Recomendable si:

- Variedad de productos y demanda baja o intermitente de cada uno de ellos.
- Maquinaria cara y difícil de trasladar.

Figura 53. Ventajas e inconvenientes de la distribución orientada a proceso.

Distribución orientada a producto: Ventajas e inconvenientes

Ventajas:

- Mínima manipulación de los materiales.
- Reducción del tiempo entre el inicio del proceso y la obtención del producto acabado.
- Menos material en curso.
- Mano de obra más fácil de entrenar y de substituir.
- Programación y control sencillos.

Inconvenientes:

- Mayor inversión.
- Rigidez.
- Diseño y puesta a punto más complejos.
- El ritmo de producción lo marca la máquina más lenta.
- Una avería puede interrumpir todo el proceso.
- Tiempos muertos en algunos puestos de trabajo.
- El aumento de rendimiento individual no repercute en el rendimiento global.

Recomendable si:

- Alto volumen de producción de unidades idénticas o bastante parecidas.
- Demanda estable.

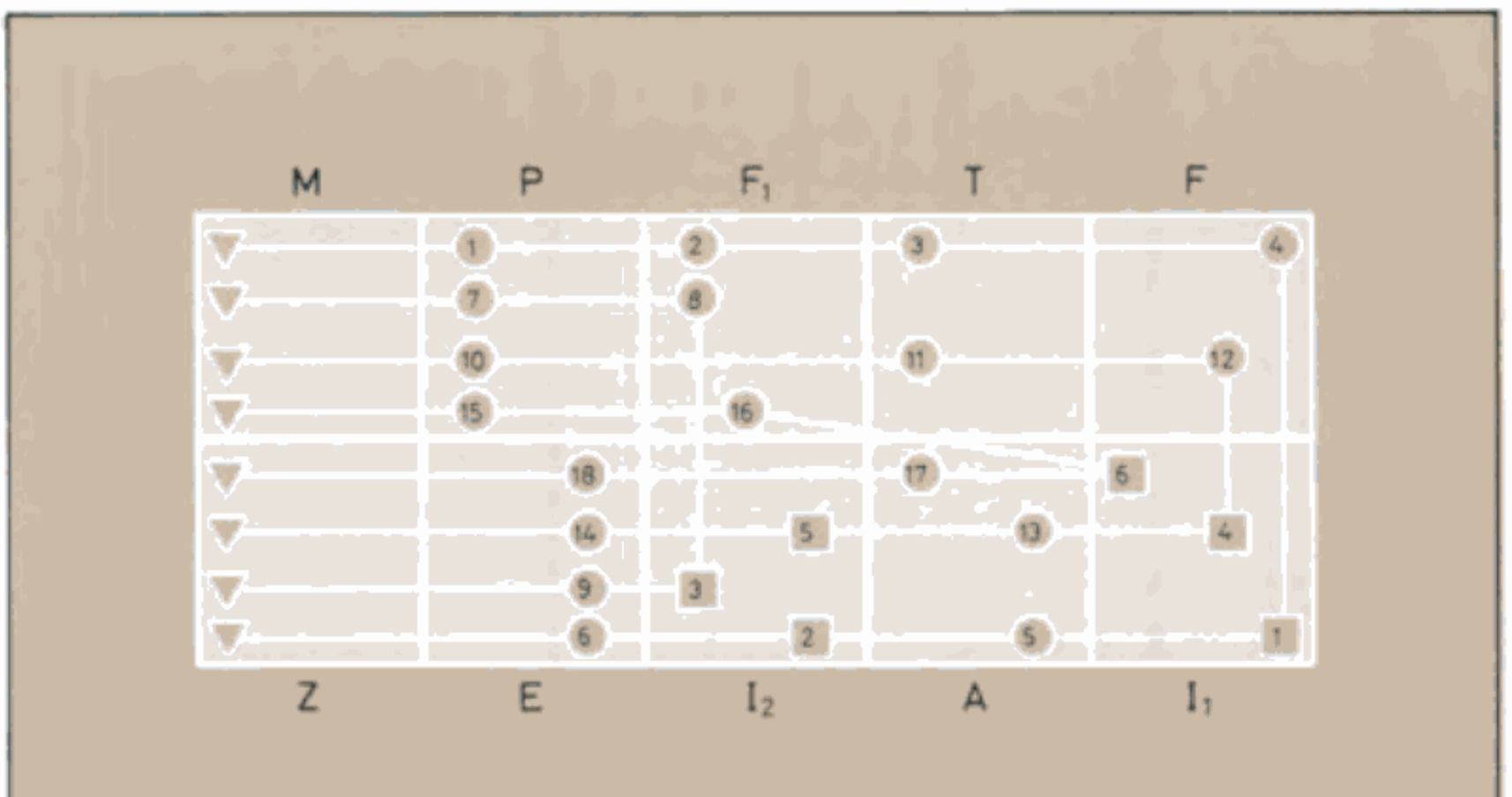
Figura 54. Ventajas e inconvenientes de la distribución orientada a producto.

Copyrighted material

pasaría de 1,9 a 1,3); en cambio, la asignación de la inspección 6 a I1 obliga a disponer 2 unidades en esa sección, mientras que su asignación a I2 (que obligaría a un retroceso en el flujo) no exige aumento del número de unidades en esta última y permite reducir en una unidad los recursos de I1.

La figura 56 corresponde al cálculo de los costes de movimiento del material con la distribución de la figura anterior.

Figura 55. Distribución en planta orientada a producto, diagramas de recorrido y cálculo de los recursos necesarios en cada sección relativos a los datos de la figura 44.



Cálculo del número de unidades productivas en cada sección :

P : 0,2 + 0,1 + 0,15 + 0,25 = 0,7 → 1

F1 : 0,8 + 0,5 + 0,6 = 1,9 → 2

T : 1,2 + 0,6 = 1,8 → 2 → 4

F2 : 0,9 + 0,7 = 1,6 → 2

I1 : 0,6 + 0,2 + 0,4 = 1,2 → 2

A : 1,8 + 2,1 + 1,3 = 5,2 → 6 → 4

I2 : 0,5 + 0,3 + 0,8 = 1,6 → 2

E : 0,2 + 0,3 + 0,4 + 0,6 = 1,5 → 2

Por su parte, la figura 57 representa una distribución orientada a proceso y sus diagramas de recorrido; se aprecia, en relación a la distribución orientada a producto, la mayor complejidad de las trayectorias y el ahorro de recursos (una unidad de inspección menos que en la solución representada en la figura 55).

Finalmente, referido a este ejemplo, la figura 58 incluye diversos esquemas de distribuciones orientadas a proceso (en primer lugar, la misma que aparece en la figura 57) con los costes correspondientes.

Copyrighted material

De \ A	P	F_1	F_2	T	I_1	I_2	A	E	Z
M	700 / 10								
P		450 / 10		250 / 20					
F_1				200 / 10	100 / 30	150 / 10			
F_2					450 / 10				
T			450 / 10						
I_1							550 / 10		
I_2								600 / 10	
A						550 / 10			
E									700 / 10

Coste = 56 000

Figura 56. Matriz origen-destino correspondiente a la figura anterior, para el cálculo del coste del movimiento de materiales. En la parte superior de la casilla figura el número de unidades y en la inferior la distancia rectangular entre los centros de las secciones en el supuesto de que las dimensiones del taller son 20×50 unidades de longitud. Si la unidad de coste es el que corresponde a un desplazamiento de una unidad de longitud de una unidad de volumen, el coste total es la suma de productos de los valores que figuran en la parte superior e inferior de cada casilla.

A pesar de las simplificaciones (utilización de la distancia rectangular entre los centros de las secciones, suponer constante la superficie total para cada tipo de actividad con independencia de la distribución, etc.) el ejemplo ilustra algunas de las características de los tipos de distribución a que se refiere.

La figura 59 compara de forma general la orientación a producto con la orientación a proceso, sobre las cuales, por otra parte, se incluye a continuación algunos comentarios adicionales.

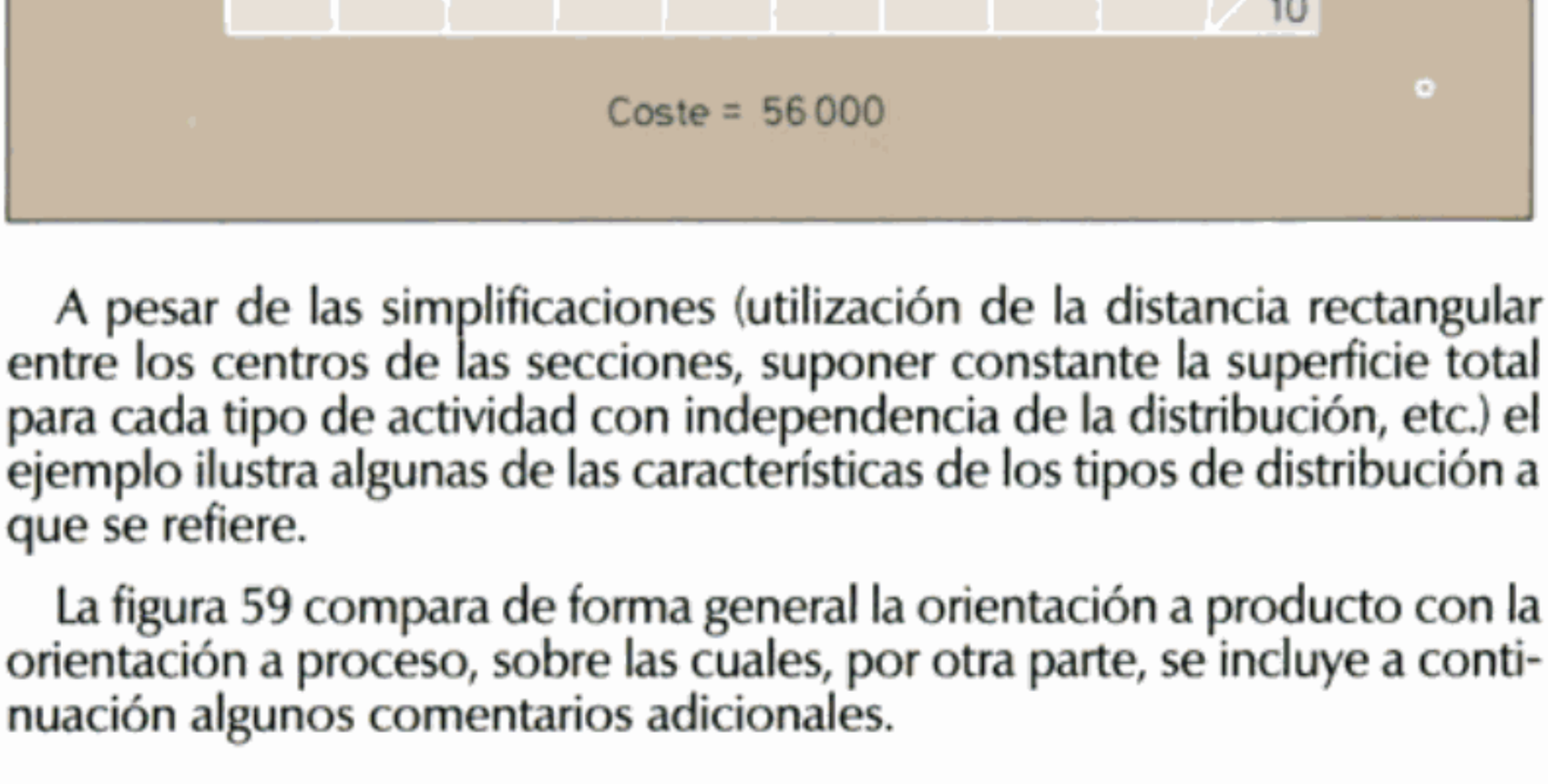


Figura 57. Distribución en planta orientada a proceso, diagramas de recorrido y cálculo de los recursos necesarios (entre paréntesis al lado de la letra que simboliza la sección) referidos a los mismos datos utilizados en las figuras anteriores.

Copyrighted material

Figura 58. Diversos esquemas de distribuciones orientadas al proceso para los mismos datos de las figuras anteriores. Junto a cada esquema figura la matriz de distancias para las secciones entre las que se produce movimiento de materiales; con estas matrices y la de la figura 46 se ha llevado a cabo el cálculo del coste.

M	P	F	T
Z	E	I	A

	P	F	T	I	A	E	Z
M	10						
P		15	30				
F			15	10			
T		15					
I					15	15	
A				15		30	
E							10

Coste = 72000

M	P	F	T
Z	E	A	I

	P	F	T	I	A	E	Z
M	10						
P		15	30				
F			15	20			
T		15					
I					15	25	
A				15		10	
E							10

Coste = 83000

M	P	T	F
Z	E	I	A

	P	F	T	I	A	E	Z
M	10						
P		25	10				
F			15	20			
T		15					
I					15	15	
A				15		30	
E							10

Coste = 78500

M	P	T	F
Z	E	A	I

	P	F	T	I	A	E	Z
M	10						
P		25	10				
F			15	10			
T		15					
I					15	25	
A				15		10	
E							10

Coste = 75500

M	P		I	
Z	E		A	T

	P	F	T	I	A	E	Z
M	10						
P		15	40				
F			25	20			
T		25					
I					15	35	
A				15		20	
E							10

Coste = 99000

Orientación a producto

La orientación a producto permite obtener flujos lógicos y regulares, menor obra en curso y menor espacio para almacenarla, así como plazos de producción reducidos. Los operarios sólo han de llevar a cabo actividades sencillas, repetitivas y de pocas clases distintas, por lo que no es preciso que su cualificación sea muy elevada; de ello se desprende asimismo que la formación es breve, simple y barata. A costa de un diseño que puede ser muy complejo, la programación y el control de la producción son simples.

Copyrighted material

En cuanto a los inconvenientes de este enfoque, cabe señalar la mayor inversión que requiere y el hecho de que el ritmo de producción lo determina la estación de trabajo más lenta; el sistema así concebido es menos fiable, más vulnerable a las averías: en muchas configuraciones el paro de una sola máquina puede interrumpir todo el proceso productivo. Finalmente, una distribución en planta correctamente concebida puede dejar de ser adecuada si se producen cambios en el diseño del producto; dicho de otro modo, una de las características negativas de este enfoque es la falta de flexibilidad.

El caso extremo de la orientación a producto, su expresión más cabal, son las líneas o cadenas de montaje (o, más en general, cadenas de producción).

Figura 59. Comparación de las distribuciones por producto y por proceso.

Comparación de las orientaciones a producto y a proceso de la distribución en planta

Característica	*Orientación a*	
	Producto	*Proceso*
Proceso	Continuo	Intermitente
Equipo	Especializado	De uso general
Utilización de los equipos	Baja	Alta
Volumen de producción por artículo	Alto	Bajo
Producción para/por	Stock	Pedido
Demanda	Estable	Poco previsible
Número de productos	Bajo	Alto
Equipos de manutención	Transportadores (trayectos fijos)	Vehículos (tr. variables)
Espacio para material en curso de fabricación	Poco	Mucho
Programación de la producción	Sencilla	Compleja
Mantenimiento	Crítico	Importante
Carga de trabajo de cada unidad	Uniforme	Variable
Calificación mano de obra	Menor	Mayor
Aprendizaje	Corto	Largo
Plazo total producción	Corto	Largo
Inversión	Mayor	Menor
Flexibilidad	Poca	Mucha

A pesar de las nuevas formas de organización del trabajo y de que a veces una cierta literatura con pretensiones científicas parece confundir el presente con un futuro meramente imaginado, ya que no deducido a partir de un análisis de la realidad, la producción en cadena sigue siendo funda-

Copyrighted material

mental en muchos sectores. De hecho, muchos productos industriales han podido ser y pueden ser fabricados en grandes cantidades y a bajo coste gracias a la producción en cadena, lo que no ha de ser óbice para tener en cuenta los problemas humanos unidos a esta forma de trabajo, que han preocupado a ingenieros, sociólogos, escritores y, como es notorio y casi tópico, a un cineasta como Chaplin, que con su película *Tiempos modernos* contribuyó a hacer de la producción en cadena una señal de identidad de nuestra época. El empresario y organizador Henry Ford incluye en su *Mi vida y mi obra* un pasaje, citado con frecuencia, que da cuenta, pese a su brevedad, de la complejidad que presenta la organización de un gran sistema de producción y de los aspectos inhumanos del trabajo en el mismo:

"[...] hice clasificar todas las operaciones distintas en la fábrica, según la índole de la máquina y del trabajo, teniendo en cuenta si la labor física era fácil, mediana o pesada; si era un trabajo en seco o en húmedo, y en caso de ser en húmedo, qué clase de líquido intervenía. Si era limpio o sucio; si se desempeñaba cerca de una estufa de aire; si se precisaba el uso de una o ambas manos; si el empleado guardaba posición derecha o sentada durante su operación; si se armaba ruido o el trabajo era silencioso; si era trabajo de gran precisión; si la luz era artificial o natural; qué número de piezas se manejaban por hora; cuál era el peso del material manejado. Además, los datos exactos sobre el esfuerzo que requería el trabajo por parte del operador. La estadística demostró que entonces se contaban en la fábrica 7882 clases distintas de operaciones, entre las cuales, 949 estaban clasificadas como trabajo pesado que requería hombres sanos y forzudos en perfecto estado físico; 3338 clases suponían desarrollo físico corriente y fuerza normal. Entre el resto de 3595 clases de trabajo ninguno requería esfuerzo físico, de modo que hubiera podido efectuarlos el hombre más caco y débil. Realmente, varios de ellos los hubieran desempeñado, a ser preciso, mujeres o niños algo crecidos. Los trabajos más fáciles eran clasificados, a su vez, para comprobar cuáles requerían el uso completo de las facultades; comprobóse entonces que 670 trabajos podían confiarse a hombres faltos de ambas piernas; 237 requerían el uso de una sola pierna; en dos casos se podía prescindir de ambos brazos; en 715 casos, de un brazo, y en 10 casos, la operación hubiera podido corresponder a un ciego.» (Henry Ford.— Mi vida y mi obra. Barcelona, sin fecha, pp. 135-136).

Una cadena de montaje puede constar de decenas e incluso centenares de estaciones de trabajo, cada una de las cuales puede estar servida por uno o más operarios. Los materiales pueden avanzar a velocidad constante o pueden permanecer en reposo en la estación de trabajo hasta que son movidos a la siguiente; en cualquier caso, en cada estación se dispone de un cierto tiempo, prefijado, para llevar a cabo las tareas que tiene asignadas. Este tiempo (salvo el caso de dos o más estaciones en paralelo que desempeñan las mismas tareas) es el tiempo del ciclo de la cadena. Idealmente los tiempos de las tareas asignadas a cada una de las estaciones deben ser iguales a este ciclo; ello suele ser muy difícil de conseguir y, muchas veces (dada una cierta división del trabajo en tareas y unos equipos y un método para realizarlas) es imposible. En todo caso, la estación de trabajo a que corresponde un mayor tiempo

Copyrighted material

total es la que marca el ritmo de toda la cadena, es el cuello de botella; y en las estaciones con un tiempo asignado menor, hay una capacidad potencial de trabajo desaprovechada. Aparece pues un problema que se denomina de equilibrado de líneas o cadenas y para el que se ha desarrollado una diversidad de técnicas que no es lógico discutir aquí, puesto que se trata de un problema de programación de actividades.

Aunque muchas cadenas de producción, como la de Henry Ford, exigen grandes esfuerzos de proyecto, inversión y puesta a punto, puede haber cadenas simples y baratas, que incluso pueden ser la solución más apropiada para producciones que no tengan un carácter permanente. A pesar de que el prototipo de cadena de montaje sigue siendo la de producción de automóviles, este tipo de organización puede ser adecuado para muchos otros productos.

Las cadenas de producción ya no son siempre sistemas completamente rígidos que producen a fuerte ritmo unidades absolutamente iguales entre sí. La frase del ya citado Henry Ford (o al menos a él atribuida), según la cual el cliente podía elegir el color que prefiriera para su coche, a condición de que fuera el color negro, es una buena ilustración de cómo han cambiado las cosas desde entonces, porque, sin salir del ámbito de la industria automovilística, el cliente puede ahora elegir, no ya el color de su coche, sino en toda una amplia gama de opciones diversas (acabado metalizado, tipo de motor, elevalunas eléctricos, dirección asistida y un largo etcétera), lo que permite un número de combinaciones realmente muy elevado para un producto que sigue siendo fabricado, salvo modelos muy especiales, a base de cadenas de montaje. En definitiva, las innovaciones en la tecnología y en la gestión permiten diseñar cadenas de montaje con un cierto grado de flexibilidad.

En una de las plantas de fabricación de automóviles que funcionan en España, por ejemplo, una de las cadenas tiene una longitud de 3 km y puede producir más de un coche por minuto, con un tiempo de 22 horas desde que se empieza a montar el vehículo hasta que está totalmente terminado. Este imponente sistema productivo tiene, no obstante, la flexibilidad suficiente para personalizar en cierto modo las unidades, puesto que permite obtener, por ejemplo, un coche de un cierto color determinado y con un equipo musical determinado, dentro de una cierta gama.

Orientación a proceso

Con todo, una cadena de montaje de coches produce en cualquier caso objetos bastante parecidos. Si se trata de fabricar artículos más diversos, la distribución en planta orientada a proceso es la más adecuada, porque proporciona la mayor flexibilidad; pero a cambio de mayores costes de manutención y, sobre todo, de tiempos muertos incomparablemente mayores, en general, que en una orientación a producto. Se cita con frecuencia la cifra del 95 % para la proporción de tiempo en que las piezas permanecen en el taller a la espera de que esté disponible la máquina o el operario que ha de efectuar el tratamiento correspondiente en cada momento; es decir, del tiempo transcurrido desde el instante en que se saca la materia prima del almacén hasta aquel en que el material elaborado entra en el almacén de productos terminados, sólo un 5 % corresponde a acciones productivas. La repercusión sobre el coste es evidente.

Copyrighted material

Las distribuciones orientadas al proceso permiten una mejor utilización de los equipos y exigen, por ello, menor inversión; como se ha dicho ya, se caracterizan también por su flexibilidad: pueden utilizarse para una gran variedad de trabajos y productos. De ahí que el trabajo sea menos repetitivo y monótono, lo que si, por una parte, puede resultar más satisfactorio y estimulante para los operarios, por otra exige una mayor cualificación de los mismos y alarga y encarece su formación.

Este tipo de distribución exige un gran esfuerzo de programación y control y normalmente la manipulación del material resulta más cara, porque los recorridos son más complejos y diversos. El plazo necesario para la producción es mayor y hay más obra en curso, lo que obliga a reservar mayor espacio para su almacenamiento.

Un enfoque mixto: las células de fabricación

Como puede deducirse de las figuras y comentarios, muy esquemáticamente se puede decir que normalmente la disyuntiva se planteará entre la distribución orientada a producto y la orientada a proceso (ya que la de posición fija sólo es adecuada para casos relativamente especiales) y que la orientación a producto es la conveniente para producir grandes cantidades de unidades idénticas, en tanto que la orientación a proceso es la recomendable para producir bajo pedido o series muy cortas.

¿Hay alguna solución que permita obtener plazos breves y costes bajos y mantenga a la vez cierta flexibilidad? Siempre ha sido conveniente disponer de un sistema productivo con estas propiedades, pero en nuestros días esto resulta prácticamente indispensable para hacer frente a la competencia con alguna garantía de éxito. El mercado exige variedad y, por consiguiente, el sistema productivo ha de ser flexible, pero sólo puede sobrevivir y desarrollarse si se consigue ajustar los costes, salvo que se disponga de una situación de monopolio que, por supuesto, no está al alcance de todo el mundo. Es evidente que, para alcanzar estos objetivos se deberá plantear una distribución que tenga una combinación de las características propias de las orientadas a proceso y de las orientadas a producto.

Este enfoque es el que se denomina de *tecnología de grupos*. Consiste, como se ha dicho, en una combinación de los dos enfoques básicos discutidos hasta aquí, de lo que resulta un taller organizado en diversos subtalleres, cada uno de los cuales puede funcionar con cierta independencia de los otros: son las denominadas *células de fabricación* (ver figura 60). Idealmente, los productos se clasifican en grupos homogéneos desde el punto de vista del proceso, de modo que a cada grupo se le asigna una célula de fabricación. En principio, todo el proceso correspondiente a un producto debería hacerse dentro de la correspondiente célula; en este caso las trayectorias seguidas por los materiales son cortas y sencillas y cada célula mantiene, no obstante, cierta flexibilidad, puesto que es capaz de producir una gama más o menos amplia de productos (al menos todos los del grupo que tiene asignado). Claro está que la calidad del diseño del sistema depende muchísimo de la clasificación de las piezas, para la cual hay un gran número de soluciones, y que para alcanzar la autosuficiencia de las células se requiere una fuerte inversión de la que por otra parte resulta una baja utilización de muchos de los equipos. Ello obliga a aceptar «imperfec-

Copyrighted material

ciones» en relación al esquema básico, es decir, salidas y entradas de las piezas desde y hacia la célula de fabricación en que se realiza la mayor parte del proceso que les corresponde. Encontrar la mejor solución e incluso hallar simplemente una buena solución de un problema tan complejo, son tareas arduas. Los procedimientos para llevarlas a cabo son en estos momentos objeto de una activa investigación.

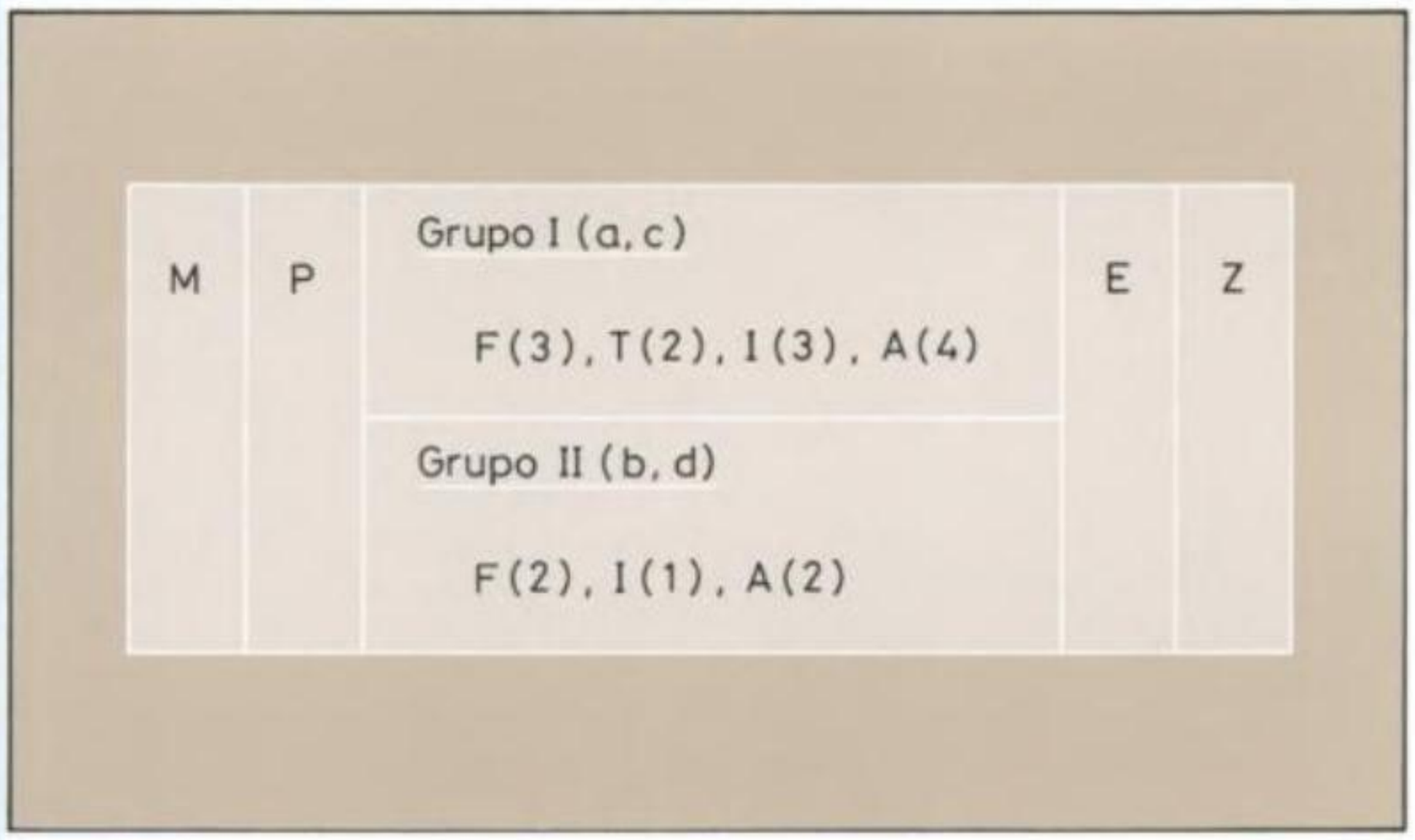


Figura 60. Un esquema de distribución por células de fabricación para el ejemplo desarrollado en las figuras 44 a 46 y 55 a 58.

Sea cual sea el tipo de recorrido adoptado, hay una gran variedad de soluciones razonables. Determinar la óptima es un problema muy difícil, más incluso que el de asignación cuadrática, comentado en el capítulo dedicado a la localización. Dicha mayor dificultad proviene de que aquí se ha de tener en cuenta, de forma explícita, las necesidades de espacio lo que, por una parte, obliga a una estimación de las mismas, tal como se discutirá más adelante, y, por otra, complica los procedimientos de optimización que, de todas formas, se inspiran en los correspondientes al problema de asignación cuadrática. Estas complicaciones, de todas formas, no aparecen únicamente ligadas al movimiento de materiales sino a cualquier conjunto de relaciones entre actividades.

Relaciones entre actividades

El movimiento de materiales es un aspecto de mayor o menor importancia en el planteamiento de la distribución en planta, pero desde luego nunca es el único a tener en cuenta, ni siquiera en las industrias típicamente manufactureras.

En éstas, algunas veces el movimiento de materiales puede incluso tener poca importancia por el escaso volumen, o peso de los productos; en cualquier caso, se ha de preveer una asignación de espacio para servicios anexos (como el de mantenimiento, oficinas, lavabos, etc.) que no se encuentran en el itinerario que siguen los materiales pero cuya relación con el mismo tiene una incidencia evidente sobre el coste.

Copyrighted material

Por otra parte, en las actividades de servicios el movimiento de materiales suele ser insignificante o inexistente, lo que no es óbice para que la distribución en planta tenga una gran importancia para el funcionamiento del sistema.

En definitiva, lo que se ha de tener en cuenta al plantear la distribución en planta no sólo es el recorrido de los elementos materiales sino en general cualquier circulación o relación que tenga lugar en el seno del sistema productivo, tanto si implica un movimiento de materiales más o menos pesados como si se trata de circulación de documentos o desplazamien-

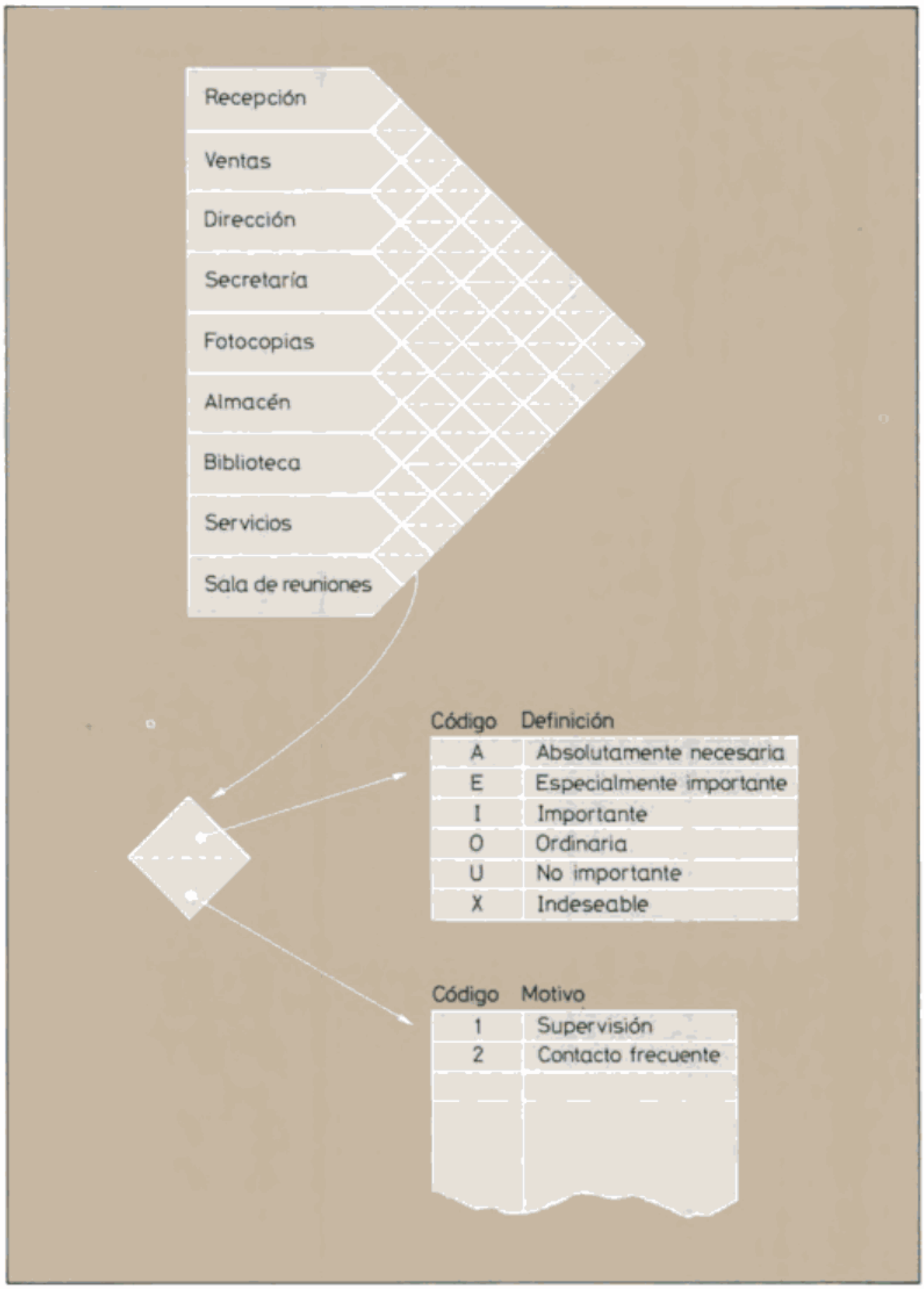


Figura 61. Tabla de relaciones. Cada casilla está dividida en dos partes. En la superior se escribe un código de los definidos en la figura que indica la importancia de la relación; en la inferior, un código que exprese el motivo, según una lista que pueden ser distinta en cada aplicación del método.

Copyrighted material

tos de equipos o personas, que pueden ser clientes o empleados de la propia empresa o de otras que les presten sus servicios.

De hecho, si se puede referir a una unidad de medida común, como puede ser el coste, los movimientos de materiales y las relaciones de otro tipo, no existe razón alguna para tratar separadamente unos y otras. El problema surge cuando, como sucede la mayoría de las veces, son, al menos prácticamente, inconmensurables; en muchas ocasiones ni siquiera es posible cuantificar con una fiabilidad aceptable algunas o la mayor parte de las relaciones, a pesar de lo cual se tiene una idea de su importancia, siquiera sea relativa.

Una forma concreta de organizar y presentar de forma compacta esta información es una tabla tal como la que aparece en la figura 61 (tabla de relaciones, en la terminología del SLP), que muestra asimismo los símbolos recomendados por Muther para su utilización, los cuales han tenido por cierto una aceptación bastante general.

Por supuesto, cabría utilizar cualquier otra forma de representación equivalente; de hecho se trata de una matriz simétrica en que los elementos de la diagonal principal carecen de significado. La tabla de la figura permite recoger esta información sin desperdiciar espacios y sin redundancias.

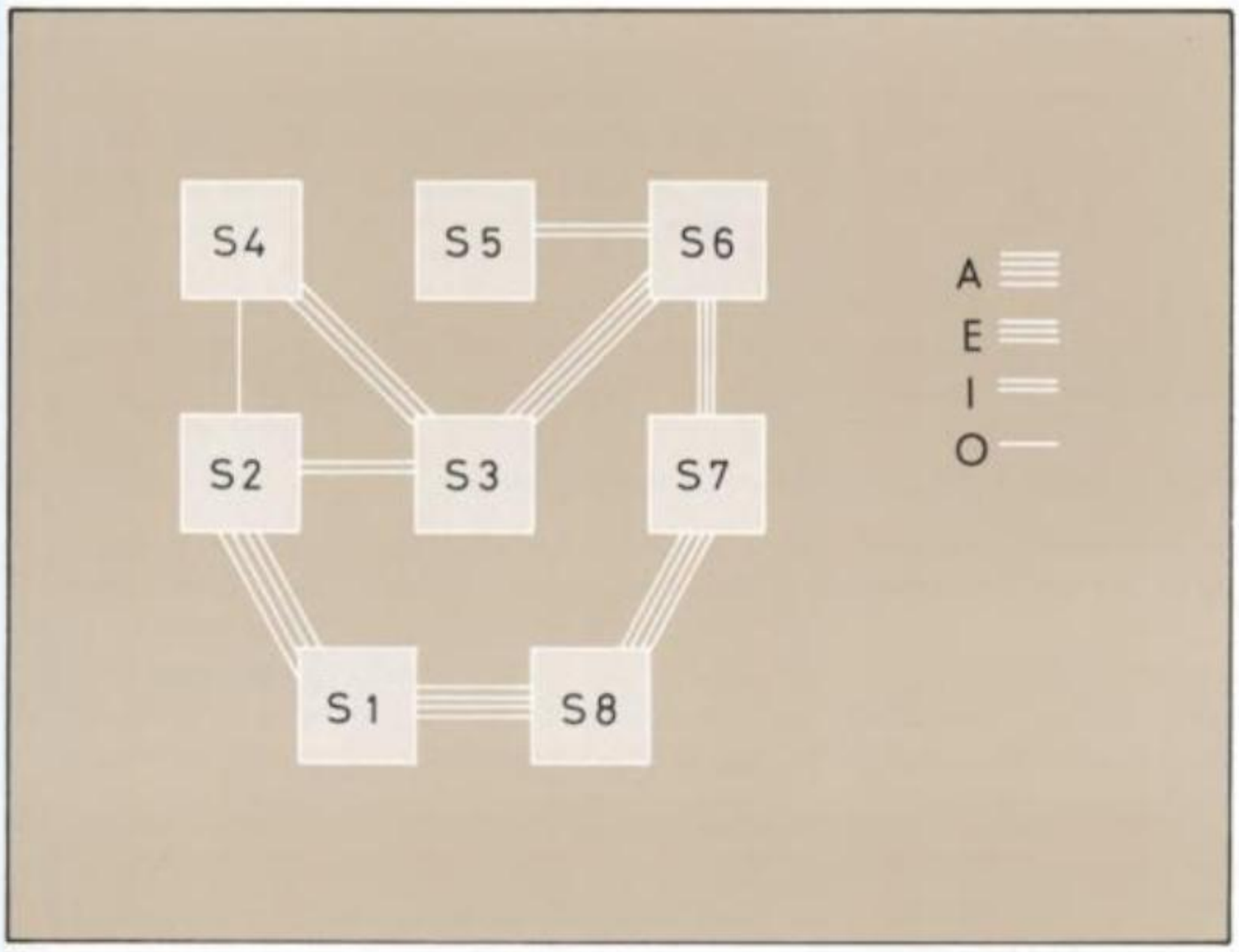


Figura 62. Diagrama de relación de actividades.

Diagrama de relación de actividades

A partir de los análisis anteriores se puede empezar a configurar la distribución en planta.

En el SLP, el estudio del recorrido de los materiales (bloque 1 del

Copyrighted material

diagrama de la figura 36) y el de la relación entre actividades (bloque 2 de la misma figura), convergen en el bloque 3, que se refiere a la elaboración del denominado diagrama de relación de actividades. Este es un gráfico, tal como el de la figura 62, en que se representa cada centro de actividad mediante un símbolo, que puede ser distinto según el centro de que se trate (por ejemplo, un triángulo invertido para los almacenes), pero que en ningún caso incluye información alguna sobre la superficie necesaria para el centro de actividad correspondiente, la cual no se ha estimado todavía. Los símbolos se unen mediante líneas simples o múltiples que indican la importancia de la relación, expresada cuantitativa o cualitativamente (con un número junto a la línea de unión, por su color o grueso o por el número de líneas).

Este diagrama, por lo tanto, reúne y sintetiza la información obtenida en etapas anteriores en la aplicación del método y además empieza a considerar la posición relativa en el espacio del conjunto de centros de actividad. En la práctica, fundir la información procedente del estudio del recorrido de materiales con la que se ha obtenido en el análisis de relación de actividades no es fácil, porque como se ha dicho más arriba estas informaciones pueden y suelen ser inconmensurables. Si el movimiento de materiales es claramente predominante será la base del planteamiento: se determinará la posición relativa de los centros de actividad implicados en el recorrido y los otros centros de actividad se situarán después en relación a ellos. En cualquier otro caso, no quedará más remedio que agregar las informaciones mencionadas, lo que implica introducir juicios y criterios personales, es decir, en definitiva una cierta dosis de subjetividad e implica asimismo una pérdida en la precisión de la información, ya que al agregar una información cuantitativa y otra cualitativa el resultado es meramente cualitativo, aunque se presente en forma numérica.

Es recomendable empezar a dibujar el diagrama siguiendo el orden de mayor a menor importancia en las relaciones, lo cual suele facilitar la obtención, con pocos tanteos, de un esquema razonable.

Necesidades y disponibilidad de espacios

En este punto se requiere ya la estimación de la superficie necesaria para cada centro de actividad. Desde luego, tal estimación puede haberse realizado antes de elaborar el diagrama de relación de actividades (el cual, por otra parte, tampoco puede considerarse, estrictamente, como indispensable: en muchas aplicaciones se podría establecer directamente el diagrama de relación de espacios que se describirá algo más adelante).

¿Cómo llevar a cabo la estimación de las superficies? Este es un punto delicado porque el espacio es caro, y a veces muy caro, y convendría ser muy precisos, pero la precisión, que muchas veces será más supuesta que real, puede conducir a un sistema muy vulnerable a los cambios o a los errores de planteamiento. No se puede ser excesivamente preciso, pues, en el sentido de que se debe realizar, desde luego, las estimaciones con toda la precisión de que se sea capaz pero introduciendo siempre un cierto margen. Los procedimientos a utilizar son muy diversos y la elección entre ellos depende del nivel de detalle a que se esté realizando el estudio, así como de la información disponible y de la experiencia de que

Copyrighted material

dispongan los responsables del estudio sobre el sector o tipo de actividad a que se corresponda la distribución en planta.

Por supuesto que, normalmente, cuanto más sencillo sea y cuantos menos cálculos exija un método, menos preciso será. Los menos aproximados se basan en la aplicación de coeficientes que pueden recibir diversas denominaciones (ratios, por ejemplo) pero que en definitiva son valores que expresan la relación entre alguna magnitud característica del sistema productivo (número de unidades a producir por período, capital invertido, número de trabajadores por turno, etc.) y la superficie requerida. Tales ratios pueden tener valores estables a lo largo del tiempo, pero pueden presentar también tendencias, fruto por ejemplo de la innovación tecnológica o de la evolución en el número de horas de trabajo por persona y año; en estos casos se deberá extrapolar para obtener una estimación de los valores futuros. Este procedimiento puede ser útil únicamente para una primera aproximación y entre sus inconvenientes destaca el hecho de que suponga, implícitamente, una relación de proporcionalidad entre la magnitud que sirve de punto de partida para el cálculo de la superficie y la superficie misma; claro está que ello en general no es cierto y que puede conducir a errores de consideración.

La utilización de normas o estándares permite una mayor precisión en la estimación de las superficies. Aunque sería difícil establecer una frontera precisa entre ratios y estándares, éstos últimos se refieren a elementos más concretos (por ejemplo, un estándar puede dar el número de metros cuadrados necesario para una máquina de un tipo y modelo específico o para cierto tipo de puesto de trabajo en una oficina).

Desde luego, no es fácil disponer de estándares fiables. Para ello se requiere amplia experiencia y una considerable labor de recogida y elaboración de información. Algunos estándares se han publicado, pero es delicado adoptarlos si no se sabe cómo han sido obtenidos ni a qué entorno corresponden (por motivos culturales, de costumbre, etc., los estándares pueden ser distintos de unos países a otros, por ejemplo).

La estimación de la superficie a través de estándares consiste en sumar los correspondientes a los elementos que constituyen el sistema productivo y multiplicar el valor así obtenido por coeficientes que permitan tener en cuenta aspectos, como los pasillos, que no hayan sido considerados en el cálculo de los estándares.

Cuando se trata de diseñar una nueva distribución en planta para un sistema productivo existente se puede estimar la superficie por un procedimiento de extrapolación, que no tiene porque ser lineal ni tiene porqué extrapolar de la misma forma para cada una de las partes del sistema. No es posible dar fórmulas que tengan validez general, pero ante cada caso concreto, un analista que conozca bien el funcionamiento del sistema productivo podrá seguramente obtener estimaciones bastante precisas.

También cabe la posibilidad de realizar croquis a escala o utilizar plantillas de los elementos productivos y situarlas en diversas posiciones hasta alcanzar una disposición satisfactoria a partir de la cual se puede estimar el espacio necesario.

El método o procedimiento del centro de trabajo puede corresponder a

Copyrighted material

las fases finales del estudio de distribución en planta, a saber, la determinación con todo detalle de la posición, es un método para establecer estándares. Se trata de delimitar alrededor de una representación a escala del elemento productivo característico del centro de trabajo (una máquina determinada, una mesa de despacho, etc.) el espacio necesario para los otros elementos que con él concurren en la realización de la tarea (espacio para el operario, las materias primas, los productos terminados, etc.). Así se determinan la forma y las dimensiones del espacio que realmente ocupará el centro de trabajo (además, se deberá tener en cuenta las zonas de circulación).

Obsérvese que, salvo en los procedimientos muy globales de estimación de superficies, será necesario calcular el número de máquinas, de operarios, de mesas, de terminales, etc.

Este cálculo no suele ser sencillo y exige a veces el conocimiento de técnicas o modelos relativamente avanzados. Aquí se supone que la capacidad de producción deseada para el sistema se ha determinado previamente, lo cual supone haber resuelto una cuestión nada trivial en la que interviene la previsión del mercado y decisiones que exigen un cálculo de costes (si la demanda es estacional, el sistema puede tener capacidad suficiente para atender en cada momento la demanda que se presente, incluso la máxima —y entonces bastará un almacén pequeño— o bien, en otro extremo, puede tener una capacidad de producción igual a la demanda media, con lo cual deberá acumular stock en una parte del ciclo estacional —la de demanda más baja— stock al que se irá dando salida en el período de demanda superior a la media; en este último caso el sistema productivo propiamente dicho tendrá menor capacidad y su coste será menor, pero el almacén deberá ser mayor y lo serán asimismo los costes ligados a los stocks de productos terminados).

En algunos casos, la superficie necesaria depende de las reglas de gestión que sè aplican o que se aplicarán, las cuales en general estarán condicionadas por el sistema de información disponible (el espacio requerido para un artículo en un almacén depende del tipo de gestión de los stocks, un sistema JIT —*just in time*— tendrá unos requerimientos de espacio distintos, menores, que los de un sistema en que la dirección de operaciones sea, digamos, tradicional, etc.).

La producción de una máquina, por otra parte, no será nunca igual al producto de su capacidad nominal por el tiempo de funcionamiento de la planta: hay que tener en cuenta tiempos de paro obligados por la propia naturaleza del trabajo de la máquina (carga y descarga), interferencias (hay un tiempo muerto a causa de que el operario no puede atender una máquina por estar ocupado con otra), mantenimiento, averías, incidencias (por ejemplo, una pieza mal colocada en el sistema de alimentación de una máquina automática, la rotura de un hilo en un telar), productos defectuosos, etc.

En la producción en cadena, la elección entre, pongamos por caso, una cadena única con un ciclo muy breve o varias con ciclo más largo tiene repercusiones evidentes en las necesidades de espacio, como las tiene el asignar unas u otras operaciones a las diversas estaciones de trabajo situadas a lo largo de la cadena. Esto explica que muchos autores traten los

Copyrighted material

problemas organizativos del diseño de cadenas, a pesar de que tienen suficiente entidad por sí mismos, junto a la distribución en planta.

En cualquier caso, la estimación de superficies presenta dos peligros, a saber, hacer una estimación equivocada y olvidarse de asignar espacio para alguna actividad. Incurrir en este último error no es nada difícil, especialmente si no se cuenta con alguna experiencia; para evitarlo es conveniente recurrir a listas, tal como la que se presenta en la figura 63.

Una relación de actividades o funciones que requieren espacio

- Almacén de materias primas.
- Obras en curso
- Almacén de productos terminados.
- Pasillos.
- Recepción y expedición.
- Almacén de equipos móviles de manutención.
- Almacén de herramientas.
- Mantenimiento.
- Embalaje.
- Mandos.
- Inspección y control de calidad.
- Instalaciones médicas y botiquín.
- Cantina.
- Lavabos, duchas.
- Oficinas.
- Aparcamiento para empleados y visitas.
- Aparcamiento vehículos de transporte y muelles de recepción y expedición.
- Almacén de materiales fungibles y varios.

Figura 63. Actividades o funciones que requieren espacio.

Una vez determinadas las necesidades de espacio para cada centro de actividad se debe confrontar este resultado con las disponibilidades reales (bloque 5 del diagrama SLP en la figura 36). Si los locales no existen (su diseño puede ser un resultado del propio estudio de distribución) puede haber una limitación global para el espacio disponible, por razones económicas; además, aún en este caso, si se ha fijado ya el solar en que se ubicarán las instalaciones, su forma y las normas de tipo urbanístico a que se encuentre sometida su utilización pueden determinar no sólo la superficie máxima de que pueda disponerse sino también una cierta fragmentación de la misma (por ejemplo, diversas plantas de un edificio) que condicionará fuertemente la distribución. Todo ello sucederá también,

Copyrighted material

con mayor motivo, cuando los locales existan antes del estudio de distribución.

Si las necesidades no casan con las disponibilidades se deberá proceder a un ajuste de unas u otras o ambas. Se puede proceder, por una parte, a reformas o ampliaciones de los edificios y, por otra, a reducir los valores calculados para las necesidades de espacio, lo cual normalmente es posible, dentro de ciertos límites, pero implica un aumento de coste. Se puede disminuir, por ejemplo, la superficie prevista para el almacén de materias primas pero ello exigirá la utilización de equipos más complejos u obligará a lanzar pedidos por cantidades menores y, por consiguiente, con mayor frecuencia que las que corresponderían a una gestión óptima en el caso de que el almacén tuviera capacidad suficiente; se puede reducir el espacio destinado a almacenamiento de los productos en curso de elaboración entre dos máquinas que intervienen sucesivamente en la fabricación de determinado producto, pero será a costa de interrupciones del proceso productivo que no se producirían si hubiera espacio suficiente.

Diagrama de relación de espacios

Una vez hechas estas adaptaciones se puede establecer el diagrama de relación de actividades, puesto que se distingue de él únicamente por el hecho de que los símbolos representativos de los centros de actividad se dibujan en él a escala, de modo que la superficie del símbolo sea proporcional a la que será necesaria en realidad para el centro de actividad que representa. Un ejemplo de diagrama de relación de espacios puede verse en la figura 64.

La representación del centro de actividades puede incluso tener la forma que en principio se considera adecuada para dicho centro. Si el local o locales son ya conocidos, el diagrama de relación de espacios se puede dibujar sobre una representación a escala de los mismos, respetando las zonas impracticables (huecos de escaleras, ascensores, etc.), con lo que prácticamente se obtendrá ya una solución. No conviene, de todos modos, ir muy lejos en esta línea porque no se ha de perder de vista la complejidad del problema de distribución, en virtud de la cual, es conveniente, como se ha dicho ya, no limitarse a una distribución ni a un solo esquema básico de distribución. El diagrama de relación de espacios se ha de concebir como un punto de partida y un instrumento para generar un cierto número de distribuciones en planta y no como la representación esquemática de una distribución en planta concreta.

Las líneas generales de estas soluciones alternativas se pueden obtener dotando de movilidad, por así decirlo, a las figuras que representan los centros de actividad en el diagrama, sin perder de vista la importancia relativa de sus relaciones. Tal "movilidad" se puede materializar a través del dibujo o a base de recortar unas cartulinas o piezas de plástico iguales a las figuras del diagrama o que representen determinados módulos (por ejemplo, un cuadrado de 5 metros de lado).

Ahora bien, el instrumento idóneo para esta actividad es un ordenador; no es muy difícil preparar un programa que represente el diagrama de relación de espacios en la pantalla, genere variantes, según las indicacio-

Copyrighted material

nes del usuario, y las evalúe. La idea es muy sencilla, pero está en la base de programas más evolucionados para el diseño de distribuciones en planta. De todos modos, el papel del ordenador en el planteamiento de distribuciones en planta merece un comentario más extenso y se le dedica un punto posteriormente.

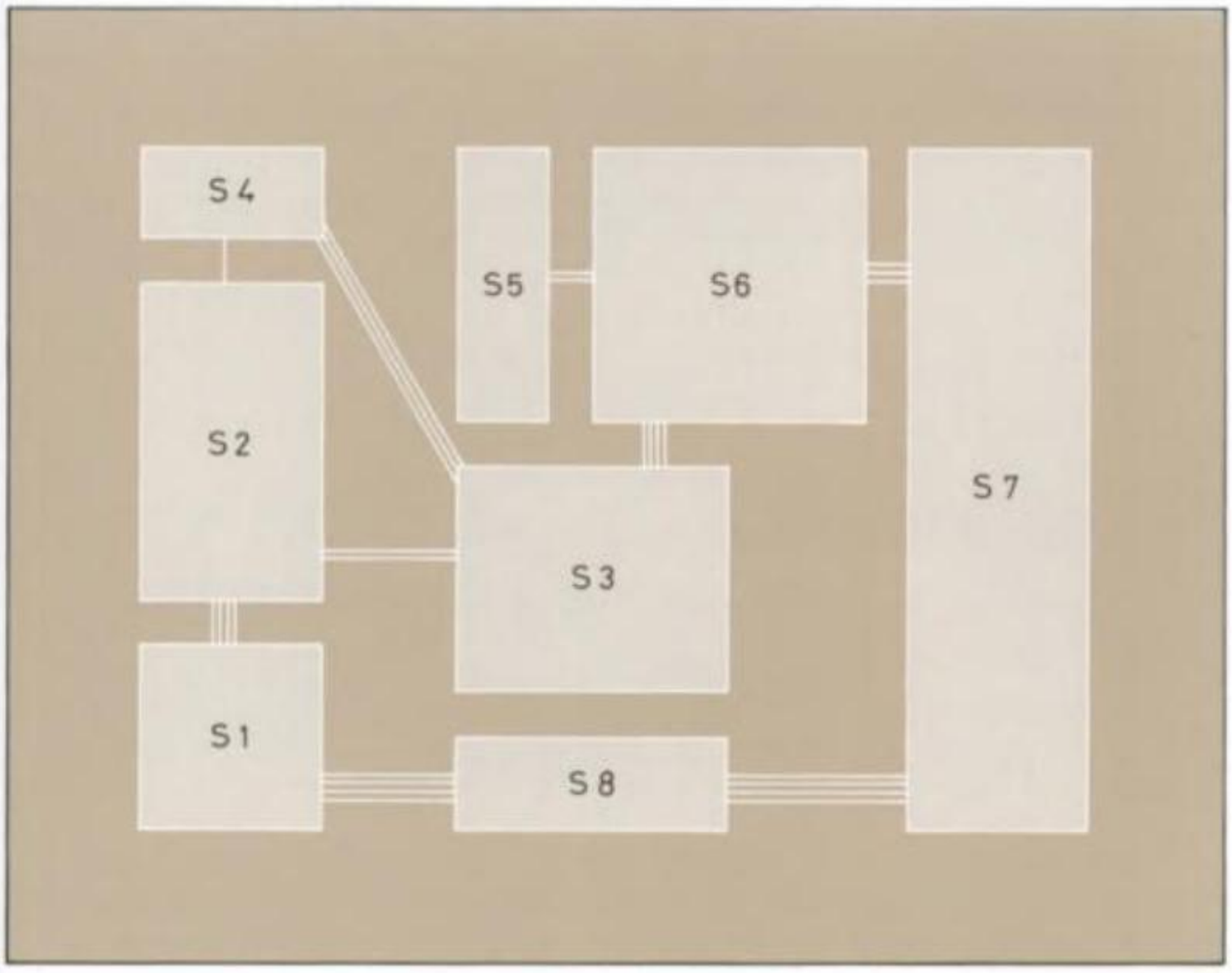


Figura 64. Diagrama de relación de espacios correspondientes al de relación de actividades de la figura 62.

Desarrollo, **presentación y elección de soluciones**

Las soluciones a comparar resultarán del diagrama de relación de espacios teniendo en cuenta aspectos de que se habrá prescindido, en mayor o menor medida, hasta ese momento (bloques 7 y 8 en el diagrama de la figura 36). Tener en cuenta todos los condicionamientos desde el inicio del estudio es muy difícil y además tiende a restringir más de lo conveniente el planteamiento de esquemas de solución; por otra parte, no se puede prescindir por completo, hasta una fase tan avanzada del estudio como la que ahora se comenta, de tales condicionamientos porque se corre el peligro de producir planteamientos inviables. En una presentación formal un método aparece casi siempre como una secuencia rígida de actividades, en cada una de las cuales sólo se tienen en cuenta los resultados obtenidos en las anteriores; en la práctica, la aplicación de un método suele evocar más la figura de la espiral que la recta: se trata de un proceso iterativo en que cada ciclo corresponde a un determinado nivel de profundidad y en el cual, al realizar una actividad se tiene en cuenta cuáles van a sucederle.

Mas, ciertamente, aspectos ha de haber y habrá no tenidos en cuenta o considerados sólo parcialmente, tales como pueden ser características constructivas de los edificios, orientación de los mismos, usos del suelo en

Copyrighted material

las áreas colindantes a la que es objeto del estudio, equipos de manutención, disponibilidad insuficiente de recursos financieros, vigilancia, etc. Uno de estos aspectos, muy a tener en cuenta al diseñar una distribución en planta y que merece sin duda un comentario, es la seguridad de las personas y de los equipos. Una visión estrecha que dé prioridad a una mal entendida economía de espacio puede dar lugar a distribuciones de alto riesgo para las personas y las instalaciones, lo cual es desde luego inadmisible y además, a la corta o a la larga, muy costoso. La figura 65 contiene algunas consideraciones elementales sobre este tema.

Figura 65. Observaciones sobre la distribución en planta y la seguridad.

La distribución en planta y la seguridad

Una distribución en planta ha de contribuir a la seguridad de las personas y de las instalaciones y para ello debe ser tal que:

- Los accesos, pasillos y salidas sean amplios y bien señalizados.
- Los operarios no estén cerca de zonas peligrosas.
- Exista un acceso previsto y fácil para los equipos de emergencia.
- No haya elementos puntiagudos, cortantes, etc. en las áreas de trabajo y en las de circulación.

A primera vista puede parecer que los horarios de trabajo no tienen repercusión alguna en la distribución en planta pero, a poco que se piense en ello, se hace evidente justamente lo contrario. La implantación de turnos nuevos para aumentar la utilización de las instalaciones y la producción por períodos tiene como consecuencia, a causa precisamente del aumento de producción, una mayor necesidad de espacio para recepción y almacenamiento de materias primas y para almacenamiento y expedición de productos acabados. Además, la implantación de nuevos turnos suele implicar cambios en el funcionamiento de determinados servicios (como el de mantenimiento), algunos de los cuales pueden repercutir en la validez de la distribución. Es frecuente, por otra parte, en las empresas que trabajan a turnos, que los horarios de los turnos e incluso el número de turnos no sean los mismos para todas las secciones; ello obliga a prever espacios para almacenamiento intermedio por el desequilibrio que se produce entre las diversas fases del proceso productivo.

La obtención de soluciones (bloque 9 en la figura 36) es un proceso que exige creatividad y que debe desembocar en un cierto número de propuestas (más de una, pero no muy numerosas, no más de cinco en cualquier caso) elaboradas de forma suficientemente precisa, que resultarán de haber estudiado y filtrado un número mayor de alternativas desarrolladas sólo esquemáticamente.

El plantearse como objetivo la obtención de más de una solución es una forma de forzar la creatividad. Esta es una cualidad de los individuos pero, como todas ellas, se puede desarrollar con método y experiencia. La falta de creatividad puede ser especialmente negativa cuando se trata de

Copyrighted material

una reforma, porque entonces tiende a imponerse la tendencia a aceptar la distribución existente como punto de partida y a limitarse a modificaciones que no alteran el esquema básico.

Krick ha recopilado una lista de preceptos o consejos para estimular la creatividad:

1) *Ejercer el esfuerzo necesario:* Fijarse un tiempo y dedicarlo íntegramente al problema, aunque antes parezca que se ha obtenido una solución satisfactoria.

2) *No entrar en detalles demasiado pronto.*

3) *Adoptar sistemáticamente una actitud interrogativa.* Las típicas preguntas *qué, quién, cuándo, dónde, cómo* y *por qué* deben formularse para cada aspecto del problema.

4) *Establecer como objetivo un número fijo de alternativas.*

5) *Evitar la actitud conservadora de ceñirse a lo ya existente.*

6) *Evitar el rechazo prematuro.* Una evaluación somera y equivocada en una fase temprana del diseño puede descartar ideas excelentes.

7) *Evitar la satisfacción prematura,* es decir, no dejar de buscar soluciones aunque se haya obtenido una que parezca insuperable.

8) *Buscar ideas en las soluciones a problemas análogos,* a través de publicaciones, proyectos ya realizados, etc.

9) *Consultar a otras personas,* técnicos en la materia y usuarios.

10) *Alejar el pensamiento de la solución existente.*

11) *Trabajar en equipo para* generar ideas (*brainstorming*).

12) *Ser consciente de las limitaciones de la mente en el proceso de generación de ideas,* para prevenirse de tendencias negativas, tales como la de imponer restricciones ficticias, aceptar o rechazar prematuramente, etc.

Esta lista es una versión algo resumida, pero no modificada, de la de Krick. Evidentemente, contiene algunas redundancias y se puede pensar que algunos de los consejos son irrelevantes o que son expresión únicamente de buenos deseos. Pero no es trivial, y su aplicación rigurosa puede ayudar a la obtención de buenos resultados.

El punto 10, que aconseja alejar el pensamiento de la solución existente, merece, no obstante, alguna matización. En general, como es práctica habitual en los estudios de mejora de métodos, cuando se trata de mejorar un sistema organizativo o un aspecto del mismo que existe y funciona, se considera como punto de partida para el planteamiento de la nueva solución la descripción y crítica de la que existe. La propuesta puede y muchas veces debe ser muy distinta de la antigua, pero no se ha de perder de vista que ésta ha sido resultado de un estudio más o menos formal y más o menos bien realizado pero que en todo caso de alguna forma expresa los objetivos y las restricciones que había en el momento en que se planteó o puso en marcha y, en parte al menos, su evolución posterior; de hecho, aunque no siempre se haga esto explícito, éste es un

Copyrighted material

motivo de fondo para el estudio de la solución antigua, que se ha de llevar a cabo no tanto con la preocupación de justificar la superioridad de la nueva solución como con la de descubrir necesidades y motivos, que muchas veces sólo se pueden detectar a través de su reflejo en el sistema productivo.

Una vez desarrolladas las soluciones, hay que proceder a seleccionar una de ellas.

Normalmente, en esta decisión intervendrán personas que no han participado en todas las etapas del diseño y que, por consiguiente, no conocen las soluciones propuestas o al menos no las conocen en detalle.

Por ello, es muy importante una buena presentación, que permita una comprensión cabal de lo que se propone.

Con este fin, cabe utilizar diversos instrumentos tales como los diversos diagramas de descripción de recorridos a que se ha hecho referencia en puntos anteriores o como planos y maquetas en dos o tres dimensiones. Se puede hacer uso de plantillas y de materiales diversos (plástico, madera, cartón) así como de cintas adhesivas para indicar paredes u otros elementos de separación. La confección de cualquiera de estas formas de presentación es cara y como no se ha de descartar que sean objeto de modificaciones es muy conveniente prepararlas de forma que éstas puedan ser rápidamente y económicamente llevadas a cabo, para lo cual es importante la adecuada elección de los materiales. Desde luego, se puede recurrir también a representaciones en una pantalla de ordenador o de terminal.

No se trata, con estas formas de presentación, de conseguir un gran realismo, sino de exponer con claridad las soluciones obtenidas. Por ello puede ser conveniente representar algunos elementos en un plano y otros en tres dimensiones (por ejemplo, representar las máquinas mediante maquetas tridimensionales y las paredes mediante trazos o cintas adhesivas para poder tener una visión de conjunto de la distribución).

Por supuesto, las maquetas pueden emplearse también en el proceso de diseño, para comprobar la factibilidad de las soluciones o de algunos aspectos de las mismas, pero encuentran su mayor utilidad en las presentaciones.

El otro aspecto esencial en la elección de soluciones es su evaluación. De hecho, la decisión sobre la distribución en planta es un problema multicriterio, tal como el de localización, con el que tiene muchos puntos de contacto y también algunas diferencias. Son aplicables aquí, en general, las consideraciones efectuadas en el capítulo dedicado a la localización, teniendo en cuenta lo que se indica a continuación.

En determinadas etapas del problema de localización el número de soluciones a considerar puede ser bastante elevado, lo que obliga a utilizar algún procedimiento para cribarlas. En lo que respecta a la localización en planta, el número de soluciones entre las que se plantea la selección es forzosamente muy reducido, puesto que consideraciones económicas y de plazo impiden prácticamente desarrollar más de dos o tres posibilidades en la inmensa mayoría de los casos. Ello simplifica las cosas, puesto que de hecho bastará evaluar cada solución en relación a cada uno de los

Copyrighted material

criterios retenidos, lo que se puede recoger en tablas como las descritas en el capítulo sobre localización; incluso, cuando la elección se plantea entre dos soluciones únicamente, puede bastar una relación cuantificada de ventajas e inconvenientes.

Los criterios y su importancia relativa pueden variar según las circunstancias, pero normalmente se utilizará un subconjunto de la relación que aparece en la figura 66.

Criterios para la elección de distribuidores en planta
– Facilidad de expansión.
– Flexibilidad.
– Eficacia en la manipulación de materiales.
– Utilización del espacio.
– Seguridad.
– Condiciones de trabajo.
– Aspecto, valor promocional.
– Adaptación a la estructuras orgánicas.
– Utilización de los equipos.
– Facilidad de supervisión y control.
– Inversión.
– Coste de funcionamiento.

Figura 66. Una muestra del tipo de soluciones que se puede obtener con el programa CRAFT.

Desde luego, un criterio que siempre deberá intervenir es el coste y a este respecto conviene no olvidar que se ha de tener en cuenta el coste de la instalación (es decir, la inversión, que cuando se trata de una reforma ha de incluir las perturbaciones y pérdidas de producción) y el coste de funcionamiento.

Finalmente, en lo referente a la implantación y puesta en marcha son aplicables las mismas consideraciones que a cualquier tipo de proyecto industrial.

UTILIZACIÓN DE ORDENADORES

Es evidente que, en el proceso de diseño que se ha descrito, los ordenadores pueden constituir una gran ayuda en muchos momentos, como herramienta para analizar, almacenar, elaborar y representar información. Pero esto no es privativo de los estudios de distribución en planta a los cuales, además el ordenador puede aportar ayudas específicas.

De hecho, la distribución en planta es un campo de aplicación típico para las técnicas de CAD (*Computer Aided Design*, diseño asistido por ordenador). Esto es así teóricamente, aunque en la práctica no se haya avanzado tanto, pese a algunas aplicaciones puntuales, como cabría espe-

Copyrighted material

rar o como se podía suponer cuando, hace ya un cuarto de siglo, se dieron a conocer los primeros programas de ordenador para ayudar a la obtención y evaluación de distribuciones en planta. Tal vez estos programas se adelantaron a las posibilidades técnicas de su tiempo y sus resultados no completamente satisfactorios no contribuyeran a impulsar la utilización de los ordenadores sino a su estancamiento.

Pero está claro que la posibilidad que puede ofrecer un sistema CAD, (tales como el almacenamiento de representaciones de los elementos que intervienen en el problema, simulaciones, cálculos de costes, dibujos y sus modificaciones o representaciones bi y tridimensionales desde distintos puntos de vista, son de gran utilidad para el desarrollo, evaluación y presentación de soluciones.

En el estado actual de su evolución, la tecnología informática permite que un ordenador personal o un terminal, con su capacidad de interacción sistema-usuario, sean instrumentos idóneos para llevar a cabo un estudio de distribución en planta, desde su inicio hasta la obtención de los planos.

Pero el aspecto más característico de este proceso es indudablemente la generación de soluciones y éste es el que se comentará a continuación.

Según H. Lee Hales, en 1984 se habían publicado ya más de cincuenta algoritmos con este fin, todos los cuales daban como resultado una representación gráfica a escala de la distribución en planta.

Los más conocidos se refieren a edificios de una sola planta, pero hay también algoritmos para el tratamiento de distribuciones multiplanta.

Algunos de estos últimos llegan a obtener una distribución esquemática para cada planta; otros, se reducen a asignar los centros de actividad a los pisos.

En cuanto a los algoritmos para la distribución en planta en dos dimensiones, se pueden clasificar en los dos tipos siguientes:

Algoritmos de mejora. Parten de una solución y la modifican con el fin de obtener reducciones en los costes.

Algoritmos constructivos. Generan una solución a partir de los datos del problema.

Sea cual sea el tipo del algoritmo y sus peculiaridades, sus datos básicos son una tabla valorada de relación de actividades (como la de la figura 61, junto con una correspondencia entre las letras y una escala numérica), con la superficie necesaria para cada una de ellas, e información sobre los volúmenes de producción. Estos datos son necesarios para evaluar las soluciones, con el fin de poderlas comparar, o para generar soluciones en vistas a conseguir un determinado objetivo.

Algoritmos de mejora

El primero cronológicamente de los algoritmos para el diseño de distribuciones en planta y el prototipo de los denominados de mejora es el denominado CRAFT, desarrollado por Buffa y sus colaboradores.

Además de los datos comunes a los demás algoritmos, los de mejora

Copyrighted material

incluyen también la descripción de una distribución en planta que se toma como punto de partida.

En el caso de CRAFT, el contorno del edificio ha de ser rectangular, pero la posibilidad de introducir centros de actividad ficticios y de fijar la posición de cualquier centro permite en realidad tratar edificios de formas cualesquiera.

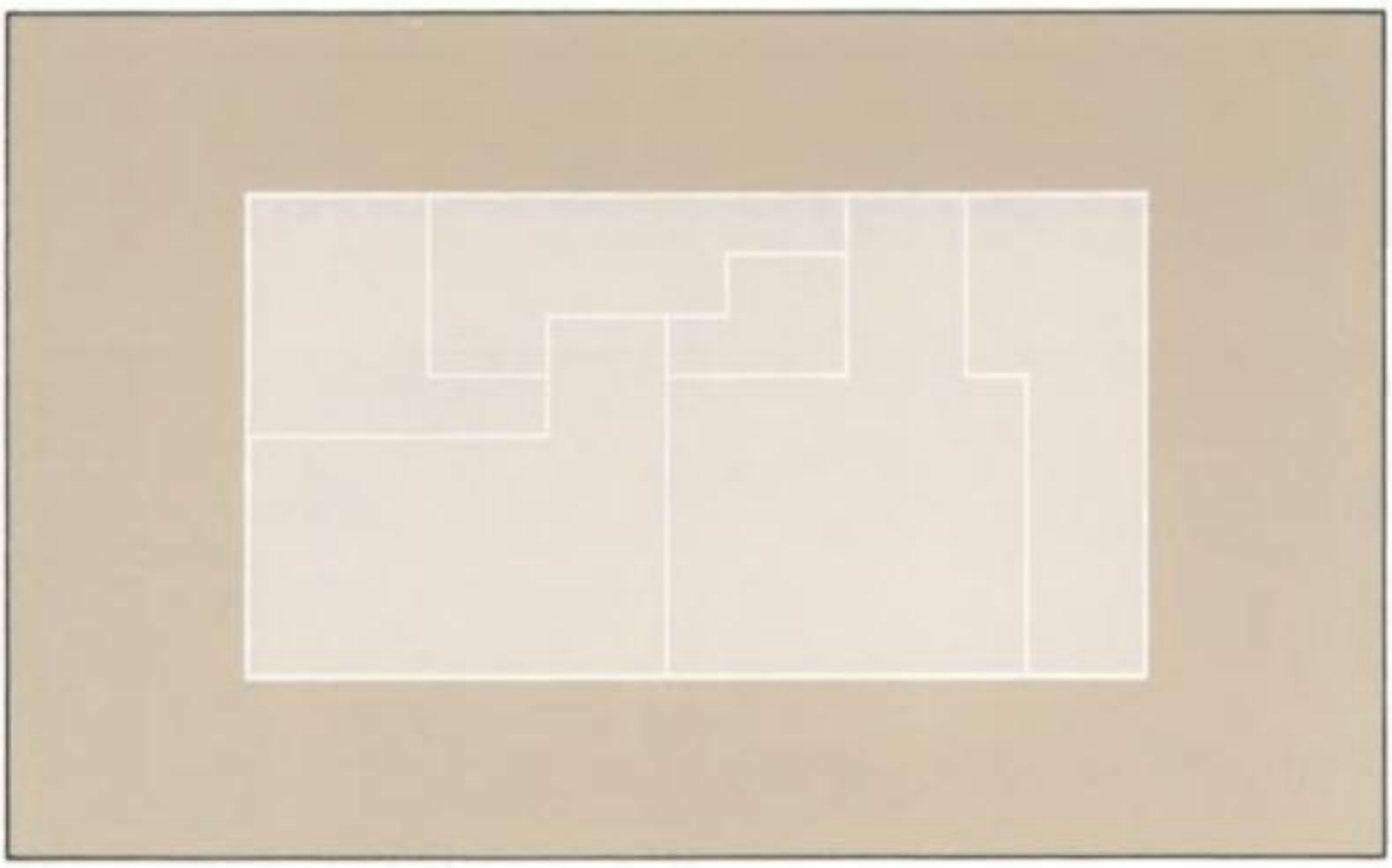


Figura 67. El programa CORELAP, con las mismas secciones y superficies a que corresponde la figura anterior, podría proporcionar una solución como la que aparece en la figura.

CRAFT calcula, para la distribución de partida, las distancias entre los centros de las áreas dedicadas a cada actividad (considerando una distancia rectangular) y, a partir de ellas, el coste de los movimientos.

Después, en cada iteración, el algoritmo considera, para los centros de actividad susceptibles de desplazamiento, sus posibles intercambios con otros y calcula, para cada uno de estos intercambios potenciales, la variación del coste. Si ningún intercambio produce una reducción de coste superior a un cierto valor,el algoritmo termina; si no, se realiza el intercambio y se obtiene así una nueva solución, a partir de la cual se sigue iterando.

Como se puede apreciar, pues, el algoritmo CRAFT está estrechamente emparentado con el algoritmo heurístico para la asignación cuadrática que se describe en la figura 32, pero este último incluía un procedimiento para generar la solución inicial, que en CRAFT se obtiene manualmente. Dicha solución inicial, por supuesto, condiciona el resultado, por lo que es conveniente aplicar diversas veces el algoritmo, cada una con una solución inicial diferente y comparar los resultados obtenidos.

El mayor inconveniente de CRAFT es que proporciona soluciones poco realistas, con líneas de separación poco regulares que dan lugar a formas difíciles de llevar a la práctica o claramente inconveniente (ver figura 67). Normalmente es obligado, por tanto, proceder a ajustes manuales, pero ello puede resultar a veces excesivamente complicado.

Copyrighted material

Las ideas básicas de CRAFT han sido completadas posteriormente con diversas mejoras.

Algoritmos constructivos

Dentro de este tipo caben, al menos, dos enfoques básicos que se pueden presentar a través de los algoritmos más conocidos de cada uno de ellos, a saber, CORELAP y ALDEP.

CORELAP empieza calculando para cada centro de actividad la suma de las evaluaciones de su relación con cada una de las demás. La actividad a que corresponde una suma mayor se coloca en primer lugar, en lo que será aproximadamente el centro de la distribución en planta. Después, en cada iteración se coloca la actividad cuya proximidad a las ya colocadas sea mayor.

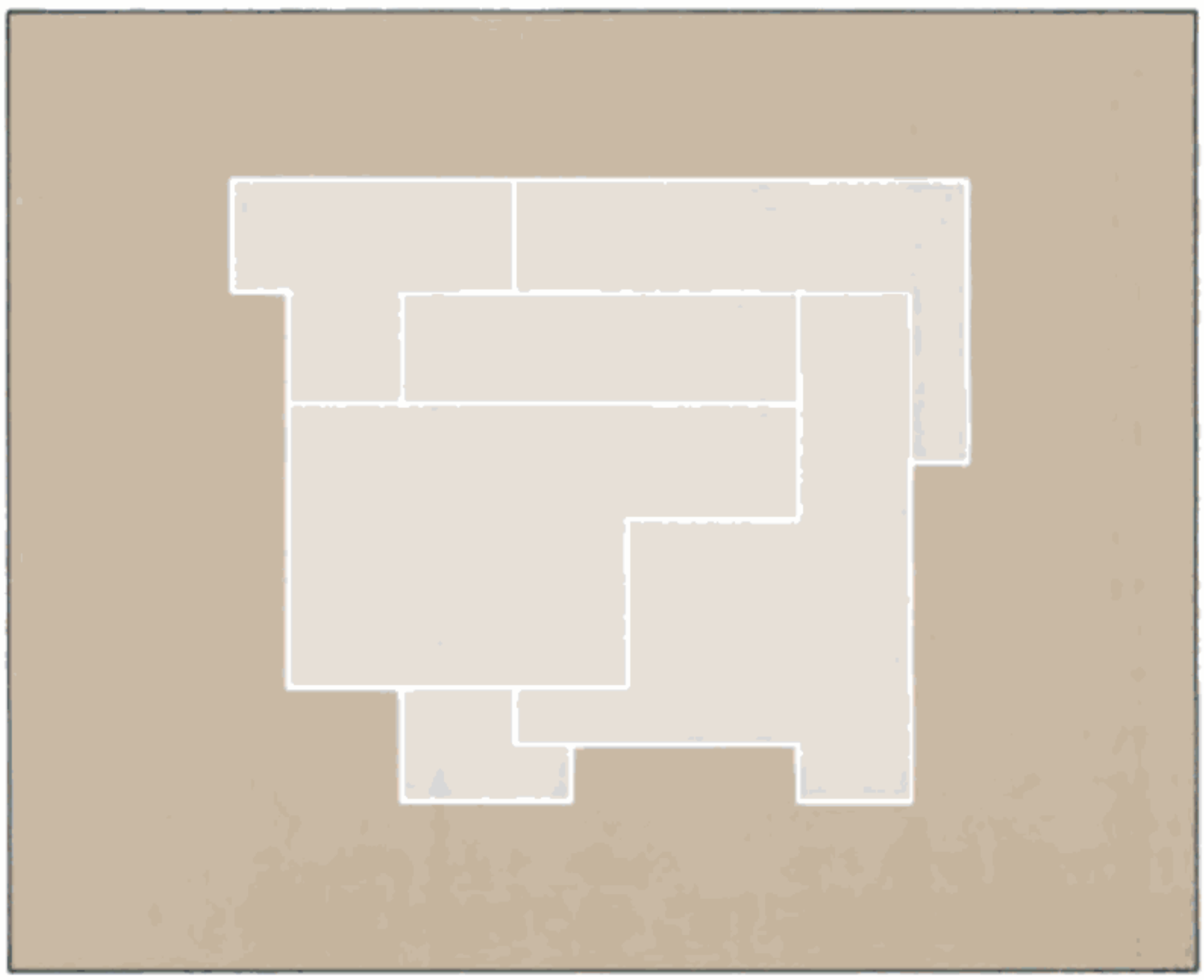


Figura 68. Una primera solución obtenida según el algoritmo CORELAP.

La solución obtenida mediante CORELAP puede tener un aspecto como el de la figura 68, que se caracteriza por la irregularidad de las formas de las secciones y del edificio, hasta el punto de que puede no ser practicable, salvo ajuste manual.

El enfoque aplicado en ALDEP permite superar esta grave dificultad. Los datos para ALDEP incluyen la forma del edifico y la posición de elementos fijos (tales como huecos de ascensor, escaleras, etc.) y, si se desea, el emplazamiento que se haya decidido fijar para determinados centros de actividad. ALDEP utiliza un algoritmo de "barrido": considera el edificio dividido en franjas, coloca un centro de actividad elegido al azar en el

Copyrighted material

rincón noroeste y, "barriendo" las franjas, va colocando los demás sucesivamente en el orden que marca su deseable proximidad con los ya colocados (ver figura 69).

Desde luego, la solución obtenida depende de la actividad que se coloca primero, por lo cual es conveniente efectuar un cierto número de pases de ALDEP y comparar finalmente las soluciones obtenidas.

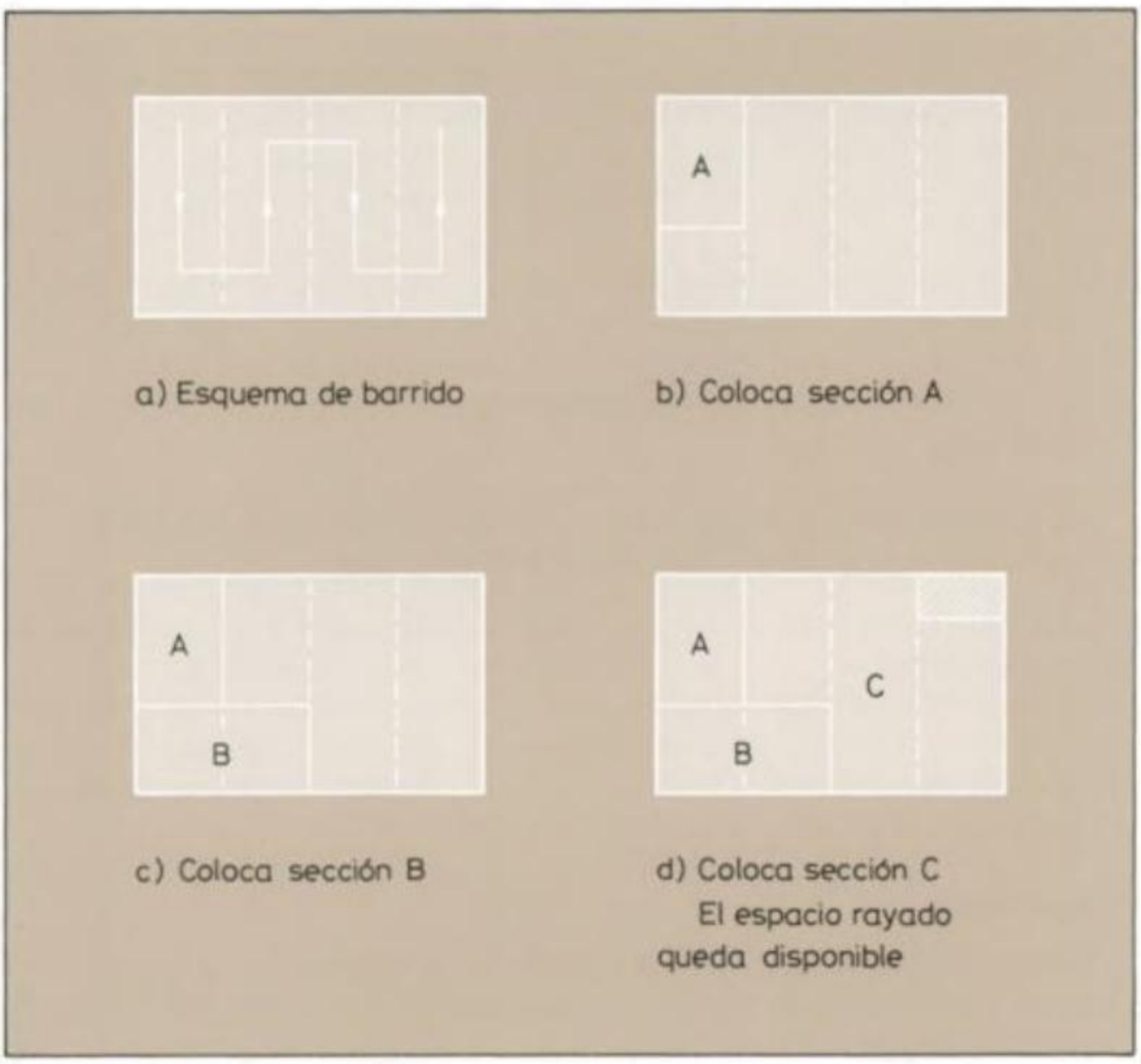


Figura 69. Esquema de barrido en que se basa el programa ALDEP y aplicación a un ejemplo con tres secciones.

El enfoque de ALDEP restringe de hecho la gama de soluciones consideradas, lo que posiblemente le impide en muchos casos acercarse al óptimo, pero tiene la contrapartida de obtener soluciones con líneas divisorias bastante regulares y, por consiguiente, susceptibles de ser llevadas a la práctica sin o con pocas adaptaciones.

Comentarios finales sobre los programas de ordenador para el diseño de distribuciones en planta

Hay división de opiniones sobre la utilidad de algoritmos como los que se acaba de describir.

Lo que parece claro es que hoy por hoy no se puede diseñar una distribución en planta de forma automática. Al contrario, este proceso de diseño es, como se ha podido apreciar, muy complejo y exige integrar una gran cantidad de información de diversos tipos y para ello es indispensable la experiencia y el buen juicio.

Copyrighted material

Los programas pueden ayudar a esta tarea utilizados en el momento oportuno del desarrollo del método y aplicados a un ámbito apropiado.

Una de las dificultades que presenta su uso es que los tiempos de cálculo pueden ser, a pesar de las grandes velocidades de cálculo de los ordenadores, muy elevados; téngase en cuenta que el número de relaciones entre actividades crece con el cuadro del número de las mismas y que, por consiguiente, el volumen de los cálculos crece más que linealmente con la dimensión del problema. Pero si el SLP u otro método similar se aplican jerárquicamente, aumentando progresivamente el nivel de detalle, y si se toman determinadas decisiones para conjuntos de actividades (por ejemplo, establecer qué actividades van en cada piso en un caso de distribución multiplanta), no ha de ser necesario trabajar simultáneamente con muchos centros de actividad y, desde luego, no conviene hacerlo.

Los programas actualmente disponibles y los que han de ir apareciendo sin duda en un futuro inmediato son, pues, herramientas que serán cada vez más útiles. La decisión sobre cuáles utilizar se deberá basar en una información actualizada sobre algo tan dinámico como es el mercado del software.

CONSIDERACIONES ADICIONALES SOBRE LA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA EN ALMACENES, OFICINAS Y SERVICIOS

Lo dicho hasta aquí es válido generalmente para cualquier tipo de sistemas productivo, pero la referencia más o menos explícita suelen ser los sistemas de producción y montaje. Cuando se trata de establecer la distribución en planta para otros tipos de sistemas conviene tener en cuenta sus peculiaridades y también, como se verá, darse cuenta de sus analogías, no siempre obvias, con los sistemas industriales.

Almacenes

En muchas ocasiones la estructura de los itinerarios en un almacén es particularmente sencilla, porque los movimientos se producen sólo entre las puertas o muelles de carga y descarga y los emplazamientos de los materiales y no entre estos últimos.

Más, desde luego, no siempre ocurre así; si hay muchos pedidos de unas pocas unidades del mismo producto o si los pedidos comprenden una variedad de productos resultaría costosísimo realizar para cada unidad, o conjunto de unidades idénticas, de las que componen el pedido un desplazamiento de ida y vuelta. Para evitarlo hay diversas soluciones, como por ejemplo, establecer para cada pedido una ruta (la optimización de la cual no es, por cierto, un problema sencillo) o agregar las unidades idénticas de diversos pedidos para formar lotes de recogida (si el almacén es grande puede establecerse una división en zonas, y asignar a cada una de ellas un operario o un dispositivo automático de recogida). En el enfoque de recogida por lotes el almacén ha de comprender una zona más o menos extensa para el "montaje" de los pedidos.

Un aspecto que complica la asignación de espacios a los diversos productos es la estacionalidad de la demanda. En un almacén de estufas y ventiladores, pongamos por caso, la asignación óptima en verano será

Copyrighted material

muy distinta de la que sería óptima en invierno pero, no siempre es factible reorganizar el almacén con la frecuencia a que se suceden las estaciones del año.

En lo relativo a la asignación de espacio a los diversos productos, una solución clásica consiste en asignar una zona, fija, a cada uno de ellos. Este enfoque da lugar a una distribución rígida que, por ello, puede causar un cierto desaprovechamiento del espacio. Su ventaja más evidente es la facilidad para localizar los productos.

Actualmente, las tecnologías disponibles para el tratamiento de la información permiten una localización dispersa y dinámica del espacio (para lo cual puede haber reglas diversas; por ejemplo, colocar las unidades en el espacio disponible que esté más cerca). Cuando se ha de satisfacer un pedido, las unidades no se buscan directamente en el almacén sino en el archivo informático que lo representa; el ordenador no sólo puede emitir una nota con la localización del producto que se desea sino que puede además determinar las rutas cuando se trata de diversos pedidos o de pedidos que constan de varias unidades.

Oficinas

La distribución de las oficinas presenta problemas muy específicos a los que se ha dado soluciones muy dispares, según el tipo de actividad, la estructura de la organización, las opiniones, no siempre unánimemente compartidas, de los responsables de la distribución y, por lo menos algunas veces, según la moda imperante.

La distribución en planta de una oficina ha de alcanzar el equilibrio adecuado, para las funciones de que se trate, entre los objetivos de comunicación y control, por una parte, e intimidad o aislamiento por otra. Para ciertos trabajos, la posibilidad de comunicarse rápidamente con otras personas de la oficina es muy importante. Para otros, lo es, sobre todo, poder concentrarse, sin perturbaciones acústicas o visuales, o tener la posibilidad de mantener conversaciones confidenciales con las visitas. Pero aislar visual y acústicamente los puestos de trabajo es rígido y caro (se consume más espacio y más materiales —tabiques, aislantes, puertas, etc.—) y hace más difícil el control. En las que se puede denominar distribuciones en planta tradicionales, el equilibrio entre los objetivos contrapuestos se alcanza mediante puestos de trabajo aislados para ciertos empleados y áreas abiertas para otros.

Una alternativa más moderna (aunque las primeras realizaciones de este tipo de distribuciones se remontan, por lo menos, al final de los años 50) es la oficina abierta, que alberga en una misma área, sin particiones, a todos los empleados, incluyendo a los directivos; lo que se llama oficina-paisaje es una variante que matiza esta idea básica: se consigue un cierto aislamiento entre los diversos puestos de trabajo mediante mamparas, plantas de interior, etc. Desde luego, hay que cuidar especialmente las condiciones acústicas del local lo que puede exigir el uso de algunos materiales especiales, pero aún así estas distribuciones resultan mucho más baratas que las tradicionales y, por supuesto, mucho más flexibles.

En las distribuciones hasta aquí consideradas cada puesto de trabajo

Copyrighted material

debe estar equipado de forma adecuada para las funciones que tiene asignadas (teléfono, terminal, ordenador, etc.). Tradicionalmente, el equipo de un puesto de trabajo administrativo, tenía un bajo coste, pero actualmente la inversión, aunque no alcanza en general ni mucho menos la correspondiente a un puesto de trabajo industrial, puede ser considerable; por otra parte, la utilización de los equipos suele ser baja. De estas consideraciones surge un concepto, el de centro de actividad, que da lugar a un nuevo enfoque de las distribuciones en planta de oficinas,del cual son escasas hasta ahora las realizaciones prácticas. Se trata de crear áreas con funciones específicas: reuniones, recepción de visitas, fotocopias (de hecho, existen desde hace tiempo en muchas oficinas secciones de fotocopias: a causa del coste elevado de los aparatos no resulta rentable asignarlos a los puestos de trabajo), terminales, etc. Los empleados disponen de un puesto base propio, pequeño y poco equipado, y se desplazan de unos a otros centros de actividad a medida que su trabajo se lo exige. Algunos inconvenientes de este tipo de solución parecen evidentes, pero la utilización de los equipos será más alta y, por consiguiente, la inversión, más reducida.

Finalmente, conviene no olvidar que el desarrollo de la informática y de las telecomunicaciones ofrece posibilidades insospechadas para resolver problemas organizativos tradicionales («reuniones» a través de una red informática, transmisión de documentos a gran velocidad y bajo coste, posibilidad de trabajar en el domicilio particular con un ordenador o con un terminal, etc.) pero la exploración a fondo de las consecuencias que pueden deducirse a partir de esta observación conduciría a este texto lejos de sus objetivos principales.

Servicios

Ya se ha dicho que los servicios son un sector muy heterogéneo sobre el cual, por consiguiente, es muy difícil realizar afirmaciones que tengan validez general.

Es cierto muchas veces, no obstante, que la circulación de materiales apenas existe o tiene muy poca importancia. No siempre, desde luego; piénsese, por ejemplo en la gestión de una cadena de hamburgueserías (que implica un importante flujo de materiales, desde el aprovisionamiento, probablemente centralizado, y la elaboración hasta el consumidor) o en la manipulación de equipajes y mercancías en un aeropuerto.

Mas cuando no hay circulación de materiales en un servicio, suele haber circulación de personas (servicios médicos, restaurantes de autoservicio, oficinas bancarias, etc.).

Sean materiales o personas o unos y otras, lo cierto es que el estudio de los flujos tiene una gran importancia para un adecuado planteamiento del servicio. Una vez dicho, esto es obvio, pero también es evidente que en muchos servicios este estudio no se ha llevado jamás a cabo y ello repercute en un funcionamiento muy deficiente.

El que los elementos que circulan sean personas tiene importantes implicaciones en la distribución en planta. Esta ha de ser confortable para sus usuarios y en muchas casos ha de garantizar la intimidad (o privacidad,

Copyrighted material

si se admite este anglicismo) en las actividades que tienen lugar en la instalación (bancos, asesores fiscales, despachos de abogados, notarios, médicos, etc.). Por supuesto, ha de satisfacer también exigencias estéticas que serían distintas y más débiles si el usuario no tuviera que estar presente.

La peculiaridad de los servicios no es obstáculo para que se les puedan aplicar muchas veces las técnicas características de la organización industrial, que han surgido y se han desarrollado principalmente en el seno del sector secundario, pero cuya aplicación al terciario es fructífera como se ha podido demostrar repetidamente. La idea de aplicar la organización industrial a los servicios puede parecer bastante nueva (de hecho las publicaciones que la desarrollan sólo son relativamente numerosas desde hace poco más de quince años), pero en realidad se remonta por lo menos a las primeras décadas de este siglo. El mismo Henry Ford advirtió las ventajas que podían derivarse de la aplicación del enfoque industrial a la gestión de hospitales y Frank B. Gilbreth dedicó considerable atención al estudio de actividades médicas, tales como las operaciones quirúrgicas. Aunque el concepto tardó en abrirse paso, actualmente no es concebible la gestión de cualquier aspecto de una actividad terciaria importante (desde la gestión de servicios de emergencia hasta la organización de unos juegos olímpicos) sin un enfoque de organización industrial.

Figura 70. Cálculo aproximado de la capacidad de un restaurante de autoservicio (en el supuesto de que los cuellos de botella no sean la cocina ni el comedor). En el caso A hay un empleado para cada actividad (excluyendo las que lleva a cabo el propio cliente); en el B, hay dos cajeros. La capacidad horaria corresponde a la actividad de menor capacidad (la 5 en el caso A y la 4 en el caso B). Obsérvese que un empleado más permite aumentar la capacidad del sistema en dos terceras partes. Si los tiempos fueran constantes el cálculo sería exacto, pero en la realidad hay variaciones aleatorias que complican bastante el problema.

Actividad N.º	*Descripción*	*Tiempo (s)*	*Tasa horaria*	
			A	*B*
1	Coger bandeja, cubiertos, etc. (autoservicio)	20	180	180
2	Servicio primer plato	15	240	240
3	Servicio segundo plato	25	144	144
4	Coger postre y bebida (autoservicio)	30	120	120
5	Cobrar	50	72	144
Servicios por hora			72	120

Restaurante de autoservicio

A.– 3 empleados (actividades 2,3 y 5, respectivamente)
B.– 4 empleados (uno en 2, otro en 3 y 2 en 5)

Copyrighted material

Al estudiar la distribución en planta de un servicio es útil, por consiguiente, pensar en sus analogías con sistemas industriales, con el fin de aplicar los conceptos que en éstos han demostrado sobradamente su eficacia.

Así, en ciertos servicios será apropiada una distribución en planta orientada al proceso (la mayor parte de servicios médicos, pero no todos, como se comentará más adelante). En otros, lo mejor será una orientación al producto, como en el ya mencionado caso del restaurante en autoservicio, verdadera cadena de montaje, en que el producto es el almuerzo o cena, a cuya producción contribuyen los empleados del restaurante y el propio usuario; este punto de vista permite plantear racionalmente la distribución y mejorar el funcionamiento del sistema, tal como ilustra la figura 70.

También en los servicios es útil el análisis P-Q. Ello permite clasificar los productos y establecer distribuciones en planta adecuadas para cada grupo. Por ejemplo, en un hospital, como se ha dicho, la distribución típica es por proceso, pero puede haber servicios homogéneos y con mucha demanda que admitan o aconsejen una distribución orientada al producto.

Es bastante conocido, puesto que incluso ha aparecido en la prensa diaria, el ejemplo de las operaciones oculares en cadena: en una de las instalaciones en funcionamiento (las hay en la URSS y en Cuba), las camillas con los pacientes se desplazan sobre unos raíles y pasan sucesivamente por cinco estaciones de trabajo atendidas por otros tantos cirujanos, supervisados por un especialista a través de un circuito cerrado de televisión; una operación de miopía tiene una duración aproximada de quince minutos. Es una aplicación del taylorismo y el fordismo curiosa por más de un motivo y, desde luego, muy útil.

Un concepto ya específico de los servicios es el de núcleo técnico. En todo servicio hay actividades que se desarrollan en contacto con el cliente y otras que se llevan a cabo sin su presencia. En las primeras, la flexibilidad, la amabilidad en el trato, etc. tienen la máxima importancia y son difíciles de programar puesto que la demanda es heterogénea en su contenido y se presenta irregularmente. Las actividades que se efectúan sin contacto con el cliente pueden ser asignadas al núcleo técnico, que conviene organizar como una planta industrial, de mayor o menor envergadura, dentro del servicio (ejemplos: manipulación de equipajes en aeropuertos, proceso de documentos bancarios, lavado de ropa —toallas, sábanas, etc.— en un hotel, etc.).

Finalmente, un aspecto muy característico de los servicios que tiene una fuerte incidencia en la distribución en planta son las colas.

Por supuesto, las colas no son privativas de los servicios. Colas las hay en todas partes y, por supuesto en la industria, donde todo stock de materias primas, de materiales en curso o de productos acabados es una cola de objetos que esperan turno para salir del almacén o para ser procesados por una máquina. Pero en los servicios las colas suelen tener aún mayor importancia, por diversos motivos.

Por una parte, la demanda presenta estacionalidad y es heterogénea,

Copyrighted material

puesto que el servicio que demanda un cliente puede ser distinto del que otro necesita y, por consiguiente el tiempo para prestarlo será también distinto. En general, los servicios son intangibles y por consiguiente no almacenables por lo que el acoplamiento entre producción y demanda no puede hacerse a través del stock y en definitiva aparece la cola (una buena gestión puede atenuarla, por diversas vías, pero no es ésta la cuestión a tratar aquí). Por otra parte, en los servicios las colas suelen ser de personas y no de objetos y ello es lo que sin duda tiene mayores implicaciones para la distribución en planta.

En todo punto en que se pueda producir una cola se tiene que prever un espacio para albergarla (desde luego una cola no tiene porqué materializarse en una fila: las personas que se sientan en las butacas de una sala de espera forman también una cola en el sentido en que aquí se habla de ellas) y prever cuál será la configuración de la cola o colas.

Esto último incluye la decisión sobre el número de unidades de servicio, que es función de la demanda y de su distribución a lo largo del tiempo, de la distribución del tiempo de servicio y de los costes o del nivel de servicio que se establezca como objetivo.

Las unidades de servicio pueden ser iguales y polivalentes o bien especializadas, en cuanto a sus funciones o en relación al tipo de unidades que tienen asignadas (por ejemplo, en un supermercado puede haber una o varias cajas destinadas a las compras que no incluyan más de un cierto número de artículos o que sean las únicas en admitir pago mediante tarjeta de crédito). La especialización permitirá probablemente prestar un mejor servicio pero habrá, en promedio, más colas; en efecto, si hay *n* unidades no especializadas, sólo hay cola cuando hay más de *n* unidades en el sistema, pero si cada unidad sólo atiende a un determinado tipo de cliente o presta un determinado tipo de servicio puede haber cola en unas unidades mientras las otras están desocupadas y además el sistema resulta menos fiable porque la avería o indisponibilidad de sólo algunas unidades puede implicar la incapacidad de prestar cierto servicio. Por ello, si el servicio y la clientela son homogéneos no se deriva ventaja alguna de segmentar la demanda entre las diversas unidades de servicio; en caso contrario, conviene comparar las ventajas de disponer de unidades polivalentes con su mayor coste.

Un aspecto de la configuración de la cola es su *disciplina*, regla o conjunto de reglas que determinan el orden en que las unidades serán atendidas. Desde luego, la disciplina más usual es la de "primer llegado, primer servido" (o FIFO, de *first in, first out*"), pero no es la única; el orden en la recepción del servicio puede estar determinado por un sistema de cita previa, por ejemplo, o puede resultar, por lo menos en parte, del azar. En ciertos servicios puede haber prioridades para ciertas unidades, bien sea por costumbre o por razones comerciales, porque exista una escala de tarifas para el servicio o porque la propia naturaleza de éste así lo exija (en un hospital una urgencia grave puede pasar por delante de otras visitas); la prioridad puede ser tan fuerte que se llegue a interrumpir el servicio que se está prestando.

Cuando hay diversas unidades de servicio homogéneas y no hay una asignación previa de clientes a las mismas, se puede formar una cola única

Copyrighted material

para todo el conjunto o una cola para cada unidad. Obsérvese que esta solución es distinta de la asignación previa de clientes a unidades, puesto que aquí el cliente elige libremente la unidad, por una parte, y, por otra, puede desplazarse de una cola a la otra si así lo desea (por ejemplo, porque observa que la que ha elegido inicialmente avanza muy lentamente; desde luego, esta situación admite variantes en cuanto a la movilidad de las unidades, puesto que también puede darse el caso de que, a causa de la disposición física del sistema o de las reglas de gestión del mismo, el cliente no pueda modificar su elección inicial y hay también casos de movilidad intermedia, como el que se da en el peaje de una autopista.

La cola única suele ser la mejor solución en estos casos. En caso contrario, si no hay movilidad intercolas pueden coexistir unidades de servicio desocupadas con colas en otras. La movilidad elimina este problema, pero es un inconveniente en sí misma, por los desplazamientos de unidades que origina y porque suele ser causa de inquietud en los clientes; además, si lo que se desea es que el orden de servicio sea el mismo que el de llegada, este sistema no lo garantiza en absoluto.

La dificultad del sistema de cola única reside en cómo materializarla. De hecho, éste es un aspecto importante en cualquier sistema de colas; la cola puede concretarse físicamente en una fila, en una sala de espera con asientos o en un recinto más amplio en que las personas se desplazan libremente esperando un aviso. La decisión ha de tener en cuenta la naturaleza del servicio y el tiempo previsible de estancia en la cola.

Si se desea una cola única materializada en una fila, ésta se puede canalizar mediante barandillas o vallas. Otras forma de conseguir una cola única, sin formar fila en este caso, es asignar un número de orden a medida que van llegando las unidades, lo que se puede hacer, en consonancia con el tipo de servicio de que se trate, por medio de aparatos sencillos de los que el propio cliente toma un boleto (muy apropiado en general para comercios) o de un empleado que tome nota de las llegadas y vaya llamando a los clientes por su nombre a medida que van quedando disponibles unidades de servicio.

Aunque las colas pueden ser prácticamente inevitables, para los usuarios suelen constituir un exponente de mala gestión. Además, la percepción del tiempo de espera no es la misma que la del tiempo de servicio; éste, en todo caso, es un tiempo perdido, inútil, improductivo y parece más largo que el tiempo de servicio, especialmente cuando el usuario no tiene información sobre lo que está ocurriendo y no observa progresos en la cola. De ahí la importancia de una disposición adecuada de los espacios en que se produce la espera que, idealmente, debe ser aprovechada para dar información al usuario, prestarle algún servicio complementario o preparar el servicio básico que está esperando y reducir así el tiempo de prestación propiamente dicho; en particular, hay que prever elementos de información, preferentemente visuales (avisos, indicadores del número de orden a que le corresponde ser atendido, etc.).

En conjunto, estas observaciones y comentarios pueden contribuir al planteamiento racional de distribuciones en un sector, como el terciario, que ocupa ya a la mayor parte de la población activa y que, pese a ello, sigue siendo objeto a veces de una gestión artesanal.

Copyrighted material

Manutención o movimiento de materiales

INTRODUCCIÓN

La manutención o movimiento de materiales ha sido alguna vez definido como "el arte y la ciencia de manipular y almacenar material". Pero esta definición es, seguramente, demasiado simple.

Para mover materiales se necesitan unos equipos; para almacenarlos se necesitan unas instalaciones. Pero hay otras consideraciones a tener en cuenta. Rara vez las operaciones de movimiento de materiales realizadas en una zona de la factoría no afectan a las operaciones vecinas y viceversa. La eficiencia del almacén afecta a la eficiencia de las operaciones de producción que se realizan en el taller. La instalación de un transportador mejora el flujo de los materiales a través de la fábrica, o puede provocar el colapso del tráfico de la planta. Una importante mejora de una operación de producción, sin la correspondiente mejora de la operación siguiente de la cadena puede significar el amontonamiento de gran cantidad de material entre las dos.

Con estos ejemplos sólo queremos destacar que al actuar sobre un punto de una fábrica actuamos sobre un sistema de actividades, que difícilmente una actuación puede limitarse aisladamente a una actividad, y que en estas actuaciones siempre resulta afectado el movimiento de materiales.

Además, debemos tener presentes los conceptos de tiempo y lugar. Una pieza o una herramienta, pequeña o grande, cara o barata, no tienen ningún valor dentro de un proceso productivo si no están en un determinado lugar en el preciso momento en que se necesitan para completar el ciclo de trabajo.

Y nos queda el último elemento a considerar. Una definición completa debe incluir la mano de obra. El personal siempre forma parte del movimiento de materiales, tanto en las operaciones sencillas, como en las complejas.

Por eso, quizás, una definición más completa podría ser:

La manipulación o movimiento de materiales es la función que realiza un sistema compuesto de equipos, instalaciones y mano de obra al mover y almacenar material a fin de conseguir unos objetivos determinados, sujetos a condiciones de tiempo y lugar.

Y hagamos notar que hay unos factores que no forman parte de la definición y que son tan importantes como los incluidos en ella. No

Copyrighted material

hablamos ni de tamaño ni de automatización. Las operaciones del movimiento de los materiales pueden ser simples y manuales, afectando a unas pocas piezas, o complejas y largas, incluyendo el movimiento automático de cientos de toneladas por día.

Pero hay otro aspecto que es necesario observar: el movimiento que debe soportar un material no le añade ningún valor. Al desplazar un producto, se realiza un trabajo que es pagado y por consiguiente genera un coste, pero que no mejora el producto. Por lo tanto, el movimiento de los materiales es una operación que debemos eliminar, minimizar o combinar de alguna forma con las operaciones productivas. Combinarlas, por ejemplo, permitiendo que una pieza acabada de pintar se seque

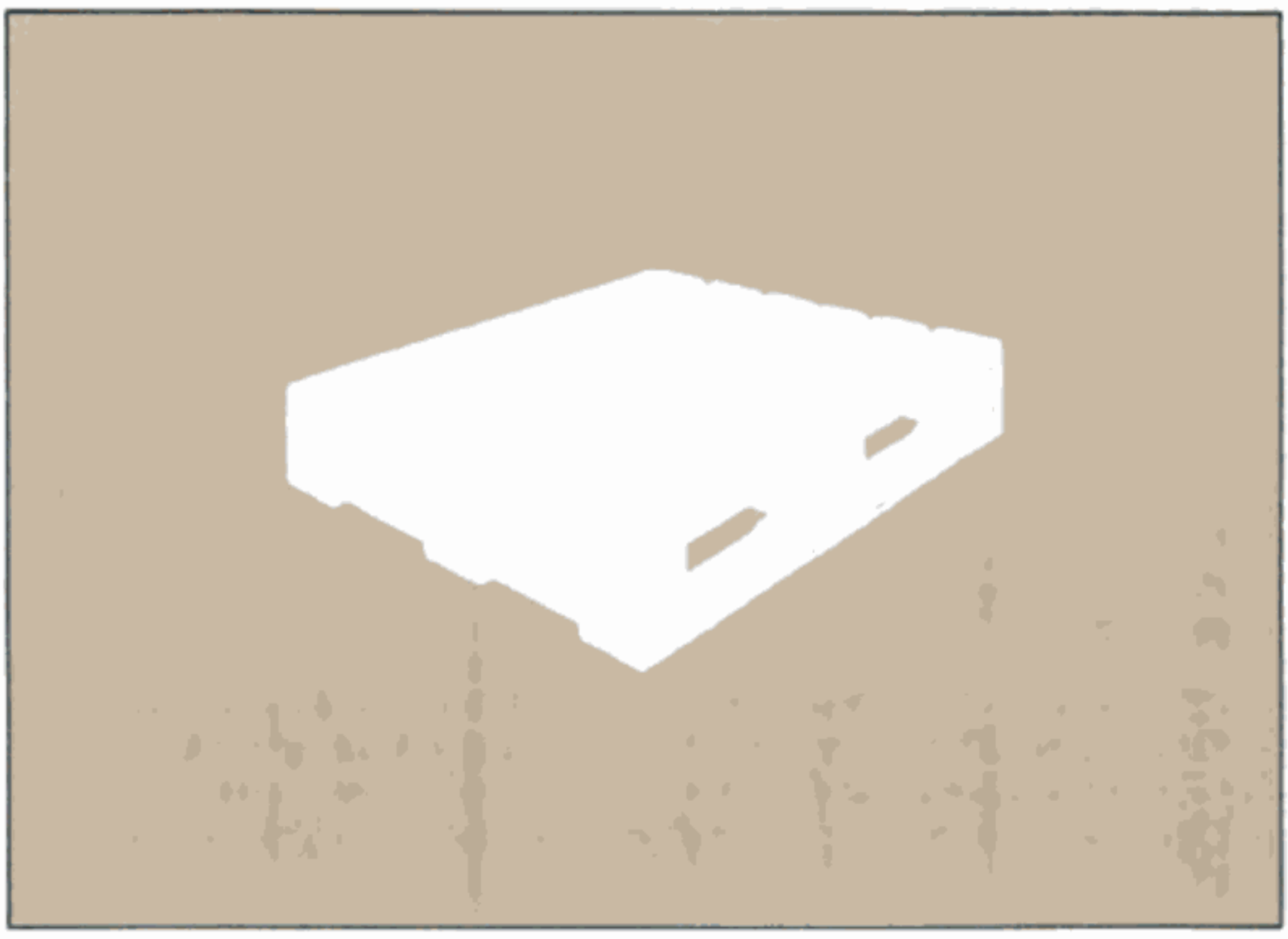


Figura 71. Paleta no reversible de dos entradas. Es la paleta a utilizar para el almacenamiento en estanterías convencionales.

mientras se desplaza al siguiente puesto de trabajo colgada del gancho de un transportador. O minimizarlas, haciendo que se reduzca el coste del desplazamiento reuniendo gran número de piezas en una sola unidad de carga.

En las próximas páginas, estudiaremos los equipos e instalaciones que integran estos sistemas que nos han de permitir el movimiento de los materiales de manera que podamos cumplir unos determinados objetivos (como dice la definición) y con un mínimo de operaciones improductivas.

UNIDAD DE CARGA

Desde que el hombre era un simple recolector de frutos se dio cuenta que le convenía más, si podía, transportar toda su cosecha de una vez que hacer tantos viajes como unidades la componían. Seguramente el primer contenedor que utilizó fue una calabaza seca y hueca, en la que depositó las semillas que recogía, en la que las transportó hasta su habitáculo y en la

Copyrighted material

que las guardó hasta el momento de su consumo. Después aparecería el cesto de hojas y ramas, el cacharro de barro, más adelante el fardo y el saco. Primero los llevaba él, solo o con la colaboración de otro u otros miembros de su tribu, después con la ayuda de los animales de carga; más tarde, con los vehículos que iba inventando. La idea era mover de una sola vez la mayor cantidad posible de mercancía.

Ese mismo criterio se ha aplicado modernamente en la industria. No es rentable mover los sacos o las cajas una a una. Deben reunirse de alguna manera para formar una unidad, a la que llamamos *unidad de carga*, que con la ayuda de máquinas adecuadas, carretillas elevadoras, grúas, transpaletas, transportadores, nos permita mover de una sola vez 1.000, 2.000,..., 30.000 kilos.

Una unidad de carga se puede conseguir con la reunión de pequeños envases, o de pequeñas piezas, en otros envases mayores los que a su vez se reunen en paletas, en plataformas, en cestones o en los grandes contenedores diseñados para este fin. A continuación estudiaremos estos elementos de soporte de la unidad de carga.

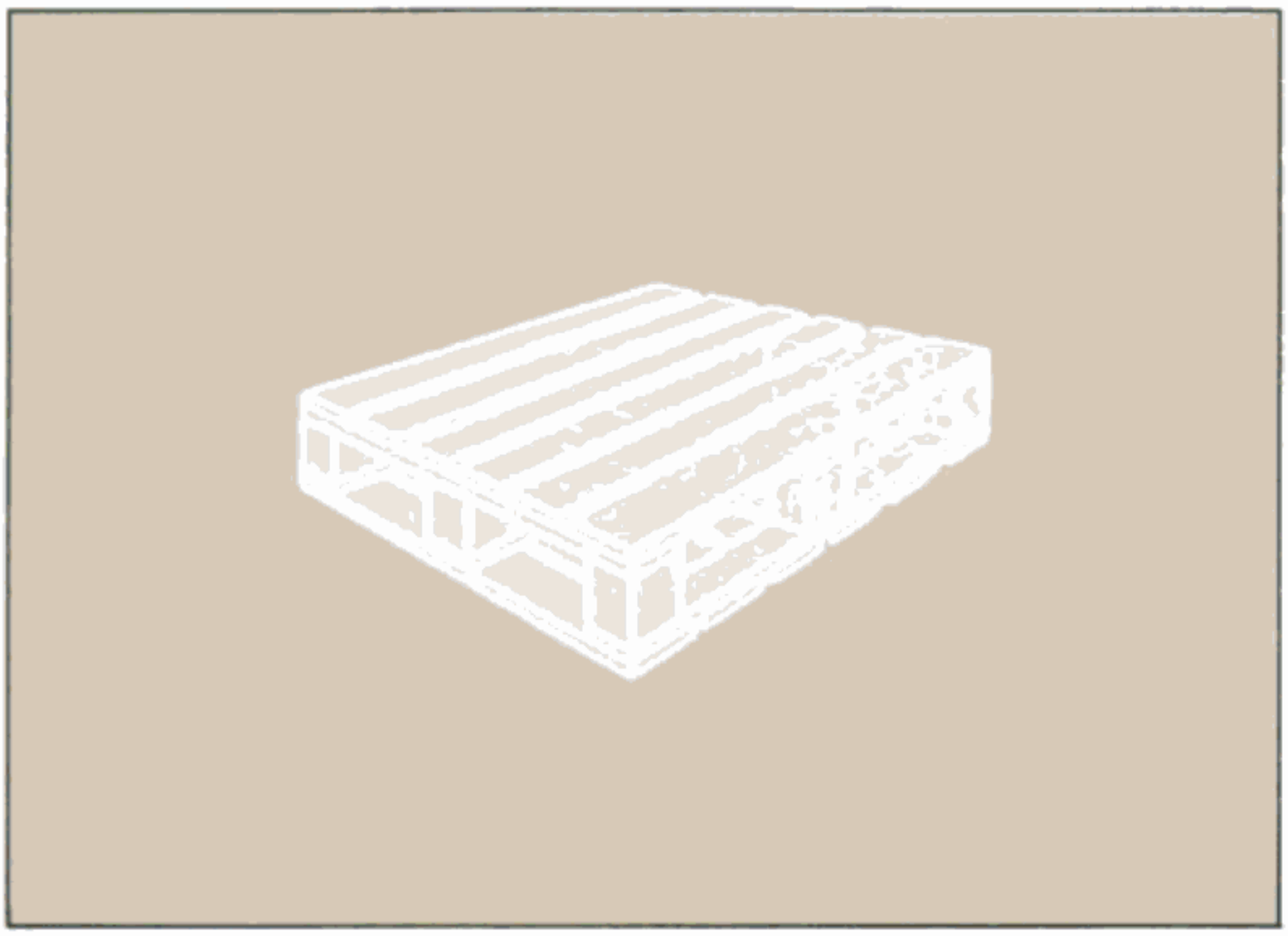


Figura 72. Paleta reversible de cuatro entradas. Paleta universal que puede utilizarse tanto para almacenar en estanterías como para el apilado sin ellas.

Paleta

Indudablemente, el elemento más utilizado en la actualidad para la formación de unidades de carga es la paleta que, como vemos en la figura 71, consta de una superficie sobre la que se deposita el material a transportar y de unos tacos o unos travesaños que separan aquella del suelo a fin de permitir la entrada de las horquillas de la carretilla elevadora. Esta que sería la forma más elemental de la paleta puede sufrir ciertas modificaciones a fin de adaptarla a las necesidades de cada caso concreto, dando lugar a las paletas reversibles (figura 72), no reversibles (figura 71), de dos entradas (figura 71) y de cuatro entradas (figura 72).

Copyrighted material

Las paletas no reversibles se utilizan cuando el almacenamiento se hace en estanterías. Las reversibles cuando las paletas se apilan sin estanterías pues al apoyar cada una de ellas sobre las mercaderías de la paleta inferior podrían dañarlas por la presión que ejercerían los travesaños sobre ellas. Las de simple entrada se utilizan cuando la paleta es siempre tomada por un mismo lado y las de doble entrada cuando es necesario que la toma pueda realizarse por dos costados perpendiculares, indistintamente.

Las paletas están normalizadas y aunque podemos ver por muchas fábricas y talleres paletas de dimensiones muy variadas, se deben evitar los tamaños no estándar pues dificultan no sólo el almacenamiento sino también el transporte y el intercambio con proveedores y clientes.

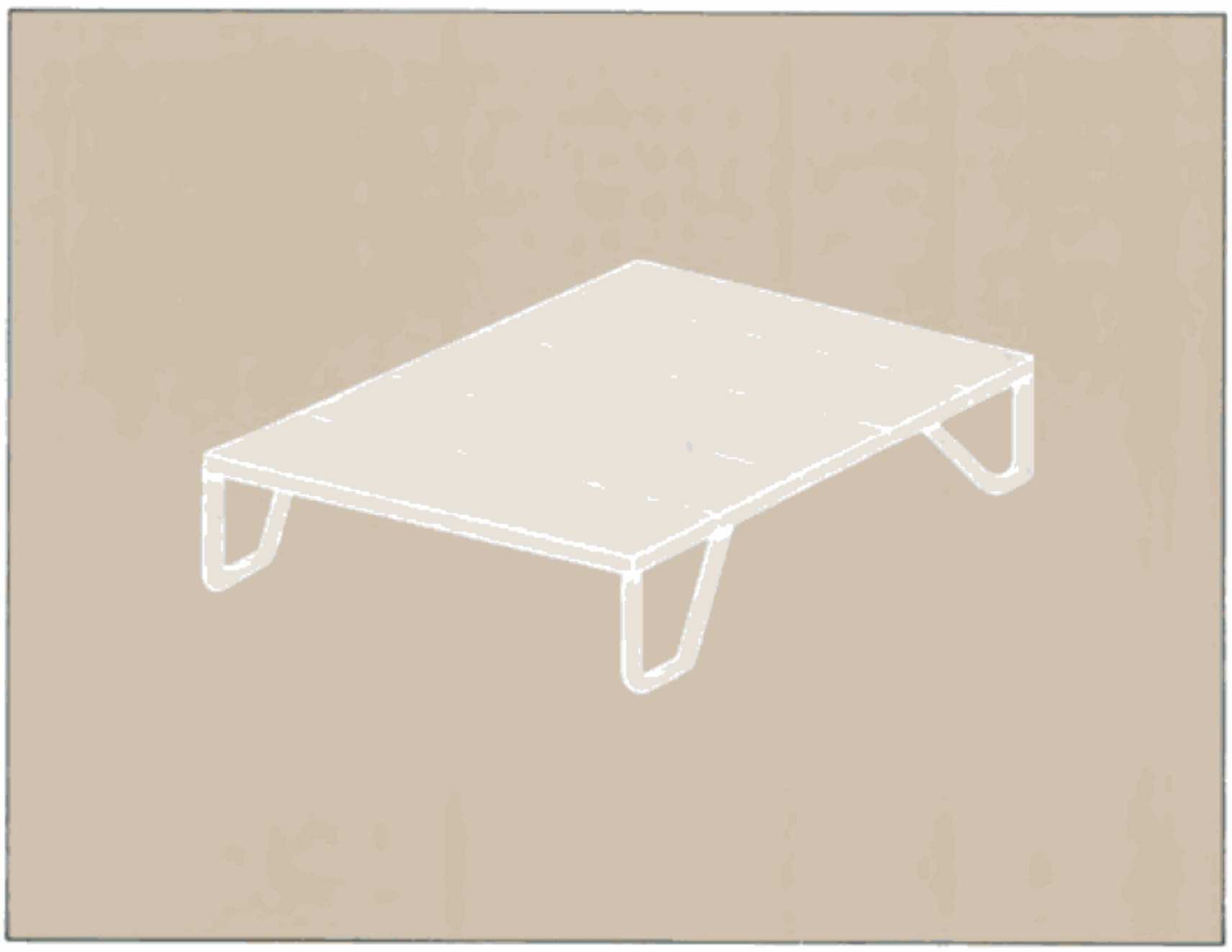


Figura 73. Plataforma para movimiento interno. Tienen menos capacidad que las paletas.

Los tamaños actualmente normalizados son los siguientes:

800 × 1000 mm
1000 × 1000 mm
800 × 1200 mm
1000 × 1200 mm
1200 × 1200 mm
1100 × 1100 mm

Pero los más utilizados son los de 800 × 1200 mm (alimentación, detergentes, grandes superficies, etc.) tamaño al que es, en general, conveniente adaptarse. En los transportes internacionales por contenedor, el más utilizado es el de 1140 × 1140 mm, por ser el que mejor se adapta a su espacio interior, aprovecha mejor el volumen disponible y, por consiguiente, el que hace más económico el flete.

Copyrighted material

Plataformas

Para el movimiento interior en los talleres mecánicos son también muy utilizadas las plataformas (figura 73). De estructura más débil y, en general, de tamaño reducido tienen una capacidad menor que las paletas y no se pueden apilar. Paro su movimiento se necesita disponer de transplataformas, lo que encarece su utilización si en la misma planta hay que manejar paletas, ya que no sirve para ambas el mismo medio de manipulación. Además su almacenamiento en vacío ocupa más espacio.

Cestones

Para el movimiento de los materiales en el interior de talleres y fábricas, para pasarlos de un puesto de trabajo a otro, por ejemplo, son necesarios envases más pequeños que puedan ser desplazados por los propios operarios sin necesidad de recurrir a ningún tipo de máquina o aparato, aunque a la vez sin excluir esa posibilidad. También son necesarios otros envases en los que se puedan recoger las producciones semielaboradas que van saliendo de las máquinas y que luego pasarán a otro puesto de trabajo o al almacén hasta que haya llegado el momento de completar su fabricación o de intervenir en un montaje posterior. Para este fin se utilizan los cestones, que podemos dividir en dos grandes grupos:

— Los cestones propiamente dichos (figura 74), metálicos y en general

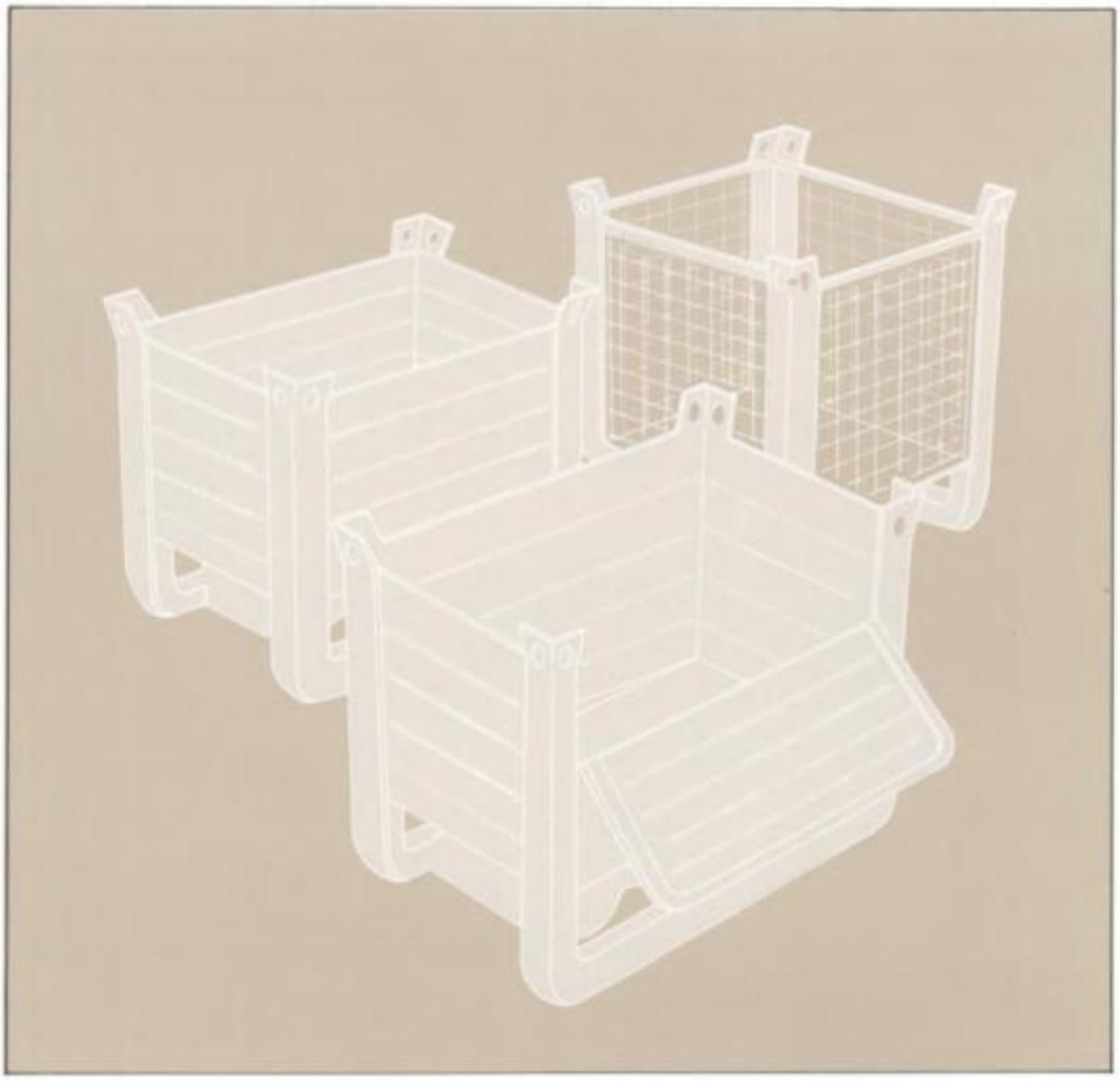


Figura 74. Cestón metálico de taller.

Copyrighted material

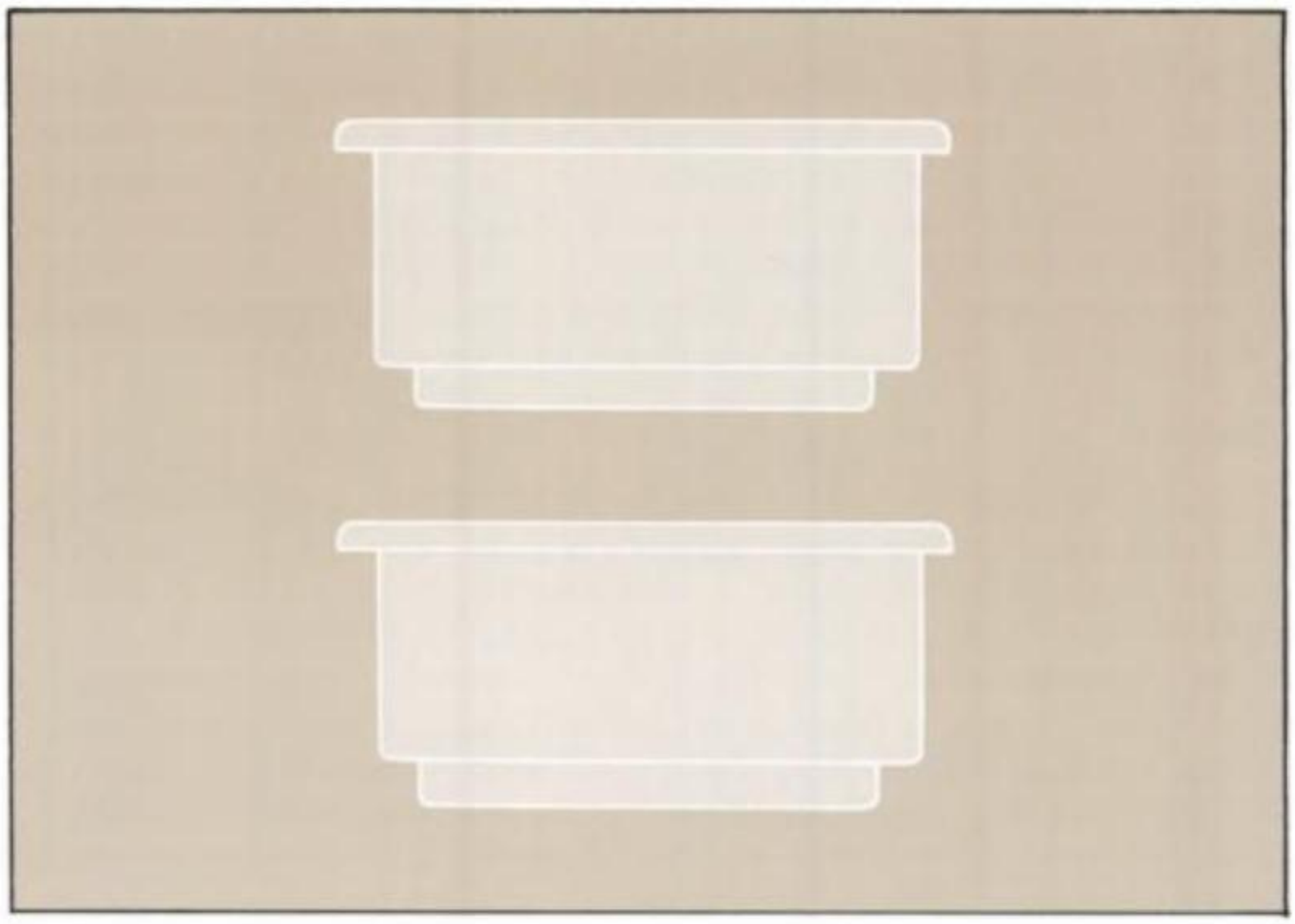


Figura 75. Cesta de plástico, apilable. Al apilar las cestas llenas no se perjudica el producto pero ocupa mucho espacio al almacenarlas vacías.

de dimensiones que en planta coinciden con las de las paletas. Son apilables y su altura es función del material a contener, para no exceder de la capacidad del elemento de manipulación que se utilice en el taller. Así, si las piezas que se depositan en ellos son de fundición sus barandas serán de poca altura, siendo mucho mayores las correspondientes a un taller en el que se fabriquen, por ejemplo, flotadores para depósitos de agua o gasolina.

Figura 76. Cesta de plástico, anidable. El apilado puede dañar el producto, pero vacías se almacenan ocupando poco espacio.

Copyrighted material

– Las cestas, canastas, bandejas (figuras 75 a 77), que se conocen con estos y otros nombres, generalmente de material plástico, y de tamaño que debe ser submúltiplo de la unidad de carga paletizada, a fin de que, si hay que transportarlos o almacenarlos sobre paleta, pueda hacerse adecuadamente, sin que sobresalgan los cestones, con el consiguiente peligro de caída, ni que sobre paleta, con la consiguiente pérdida de espacio de almacenamiento.

En cada taller, los diversos tipos de cestones metálicos, en general, difieren sólo en cuanto a su altura, como acabamos de decir; a veces, no obstante puede haber también cestones mitad, que ocupan en planta la mitad del espacio de uno grande.

Figura 77. Cesta de plástico, apilable-anidable. El apilado no perjudica el producto y su almacenamiento ocupa poco espacio.

De los de plástico, en cambio, acostumbra a haberlos no sólo de distintos tamaños, que conviene sean siempre submúltiplos unos de otros, sino también y fundamentalmente de tres tipos: apilables, anidables y apilables-anidables. Los primeros (figura 75) tienen la ventaja de que

Copyrighted material

VEHÍCULOS DE TRANSPORTE MANUAL

Los vehículos que se utilizan en la industria para el transporte manual de cargas pueden clasificarse en dos grandes grupos: los que se utilizan para el transporte de elementos sueltos y los que se utilizan para el transporte de unidades de carga. Entre los primeros podríamos citar las carretillas manuales, sobradamente conocidas, y entre los segundos las transpaletas.

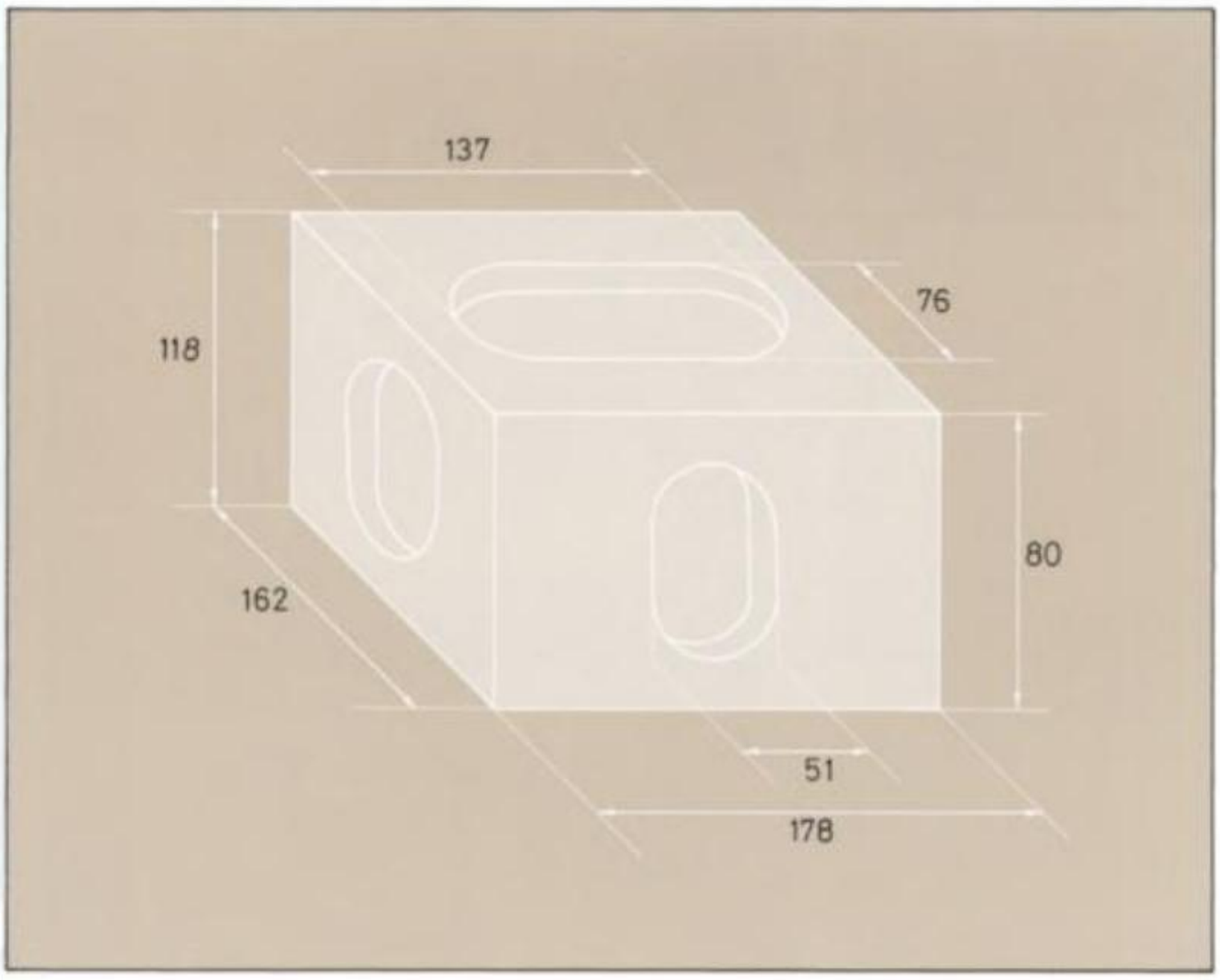


Figura 79. Cantonera de que van provistos los contenedores para su sujeción a los aparatos de elevación y su fijación a los camiones, trenes y barcos.

Transpaletas

En las carretillas, digamos clásicas la carga debe depositarse a mano en cada viaje y retirarse también a mano, bulto por bulto.

Pero por el proceso general que ha seguido la manipulación y transporte de los materiales, pronto se vio que en la industria era necesario otro tipo de carretillas que permitiera mover cargas previamente preparadas, de modo que se evitara su continuo trasiego.

De aquí nacieron los aparatos que mediante un dispositivo de elevación podían tomar y desplazar paletas y plataformas. Constituyen una fase evolucionada de las carretillas pero, como ellas, sólo pueden trasladar, no pueden apilar.

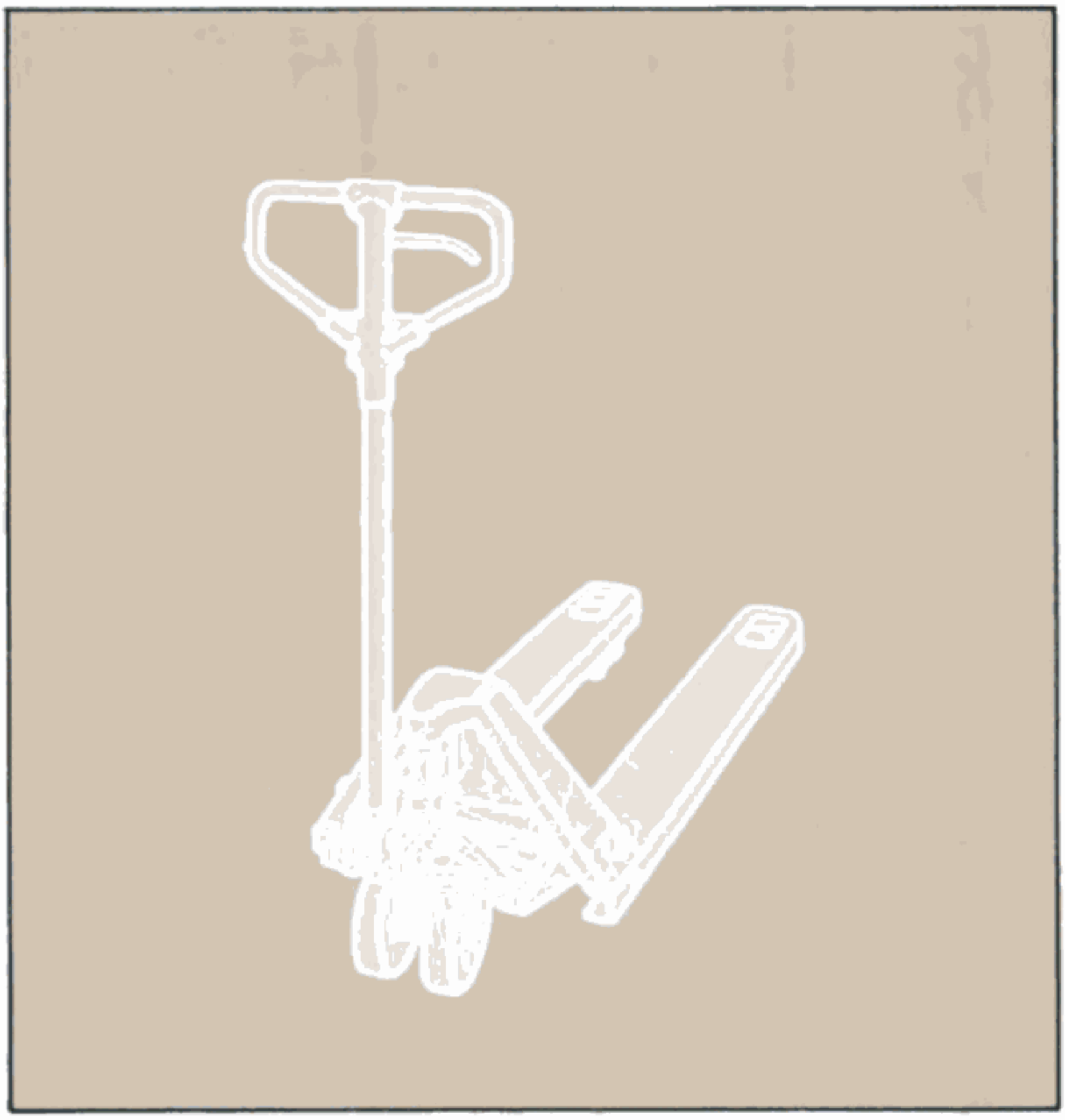
Los transpaletas (figura 80) son las que permiten el movimiento de paletas y, si su altura de elevación supera los 200 mm, también pueden manipular plataformas.

Elevación. La elevación de la carga se realiza hidráulicamente, accionando el timón de arriba abajo, generalmente cuatro o cinco veces. El descen-

Copyrighted material

so se consigue, según los modelos, mediante una maneta situada en la parte superior del timón, mediante un pedal localizado junto a la bomba o con los dos dispositivos. Los modelos con maneta son recomendables para los trabajos ligeros y si las transpaletas han de utilizarlas mujeres, pues son más cómodos; los modelos con pedal son menos propensos a averías y los que deben utilizarse en trabajos pesados.

Figura 80. Transpaleta para el movimiento de paletas.



Capacidades. Las transpaletas se ofrecen en el mercado con una gran variedad de capacidades pero que deben reducirse a dos:

— 1.500 kilos, que es la capacidad correspondiente a las que van provistas de un solo rodillo en el extremo de cada una de las horquillas (figura 81), y
— 2.000 kilos, que es la de las que llevan bogies de dos rodillos.

Todas las variantes que, a veces, ofrecen las marcas, como capacidades de 1.600 kilos en traspaletas de un solo rodillo, o de 2.500 kilos en las de dos rodillos, no dejan de ser ardides comerciales. Lo que sí es importante es que la chapa utilizada para el chasis y horquillas sea por lo menos de 3,5 mm para que pueda resistir las capacidades que hemos citado sin que se

Copyrighted material

Una traspaleta no debe ser más larga que la paleta a transportar, pues en este caso no se podría depositar la carga junto a las paredes (con la consiguiente pérdida de espacio en el almacén) y al levantar una paleta depositada junto a otra se levantaría también esa, parcialmente, con lo que se dificultaría el movimiento. En cambio, si fuera mucho más corta la carga "bailaría" en las bajadas o en las subidas (según que fuera empujada o tirada). La longitud de las horquillas debe estar comprendida entre los tres cuartos y la profundidad total de la paleta.

Ruedas. Los modelos que ofrece el mercado van provistos de ruedas de nylon o de ruedas metálicas. Estas últimas deben ir necesariamente con banda de goma, para evitar deterioros en el pavimento. Deben evitarse las de otros tipos de material plástico, generalmente frágiles y, por supuesto todas deben estar equipadas con cojinetes de bolas o rodillos.

Peso. Las transpaletas acostumbran a pesar entre 80 y 90 kilos, peso que debe tenerse en cuenta junto con el de la carga pues también se ha de "transportar". Se debe desconfiar de las que pesen menos, pues ello indica que la estructura es débil.

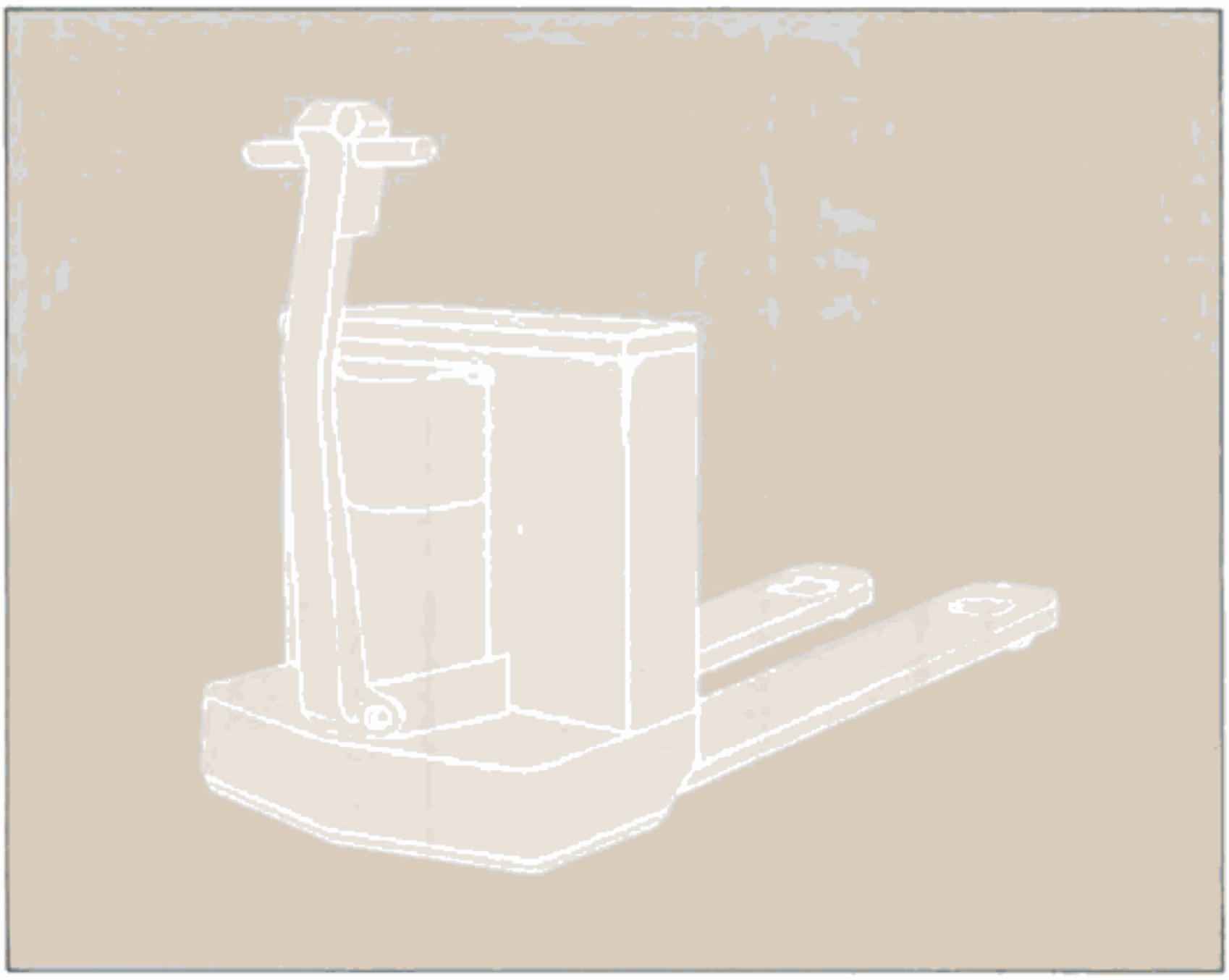


Figura 83. Transpaleta eléctrica. Deben evitarse los modelos con superficies inclinadas en el cabezal que hagan difícil la montadura del conductor.

Distancias a recorrer. El recorrido máximo para un transporte con transpaleta debe limitarse entre los 15 y los 25 metros. Más allá de estas distancias debe preverse la utilización de un vehículo motorizado.

VEHÍCULOS DE TRANSPORTE MOTORIZADOS

Acabamos de ver que con las transpaletas manuales se pueden transportar cargas, como máximo de 2.000 kilos, a una distancia relativamente corta.

Copyrighted material

Transpaletas eléctricas

Cuando el peso de las cargas aumenta hay que utilizar las transpaletas eléctricas (figura 83), cuya capacidad puede llegar a los 6.000 kilos.

Conducción. Son vehículos diseñados originalmente para que el conductor los acompañe circulando a pie, pero en la práctica se monta en ellos por lo que deben evitarse los modelos con superficies inclinadas en el cabezal que hagan difícil la ubicación del operario sin riesgo de caídas.

El conductor debe montar centrado pues de lo contrario puede volcar, en especial en los modelos en que el eje del motor no está en el plano vertical que comprende el eje longitudinal de la transpaleta.

En estos modelos la posibilidad de un vuelco es evidente, incluso con el conductor desmontado, si la carga se descentra, por lo que en general van provistos de ruedas estabilizadoras.

Velocidad. Con conductor acompañante, la velocidad puede alcanzar los 5 km/hora. Con el conductor montado se puede llegar hasta los 10 km/hora, de donde se ve la conveniencia de elegir un modelo que permita al operario ir sentado.

Accionamiento. La elevación es hidráulica con accionamiento a mando eléctrico mediante botonera situada en el timón. La traslación es eléctrica con accionamiento igualmente desde el timón. Este dispone de un seguro que bloquea la marcha si está en posición alta o baja. Si por cualquier motivo, el conductor suelta el timón éste se levanta, acciona el seguro y la máquina se para; lo mismo ocurriría si el operario tropezara y cayera sobre el timón, pues en esa posición baja también actúa el seguro.

El cabezal incluye el motor y el mecanismo de dirección. La rueda directriz única, simple o gemela, centrada en él, permite un radio de giro reducido.

Dimensiones de las horquillas. Son las mismas que en las transpaletas manuales, pero además hay marcas que presentan un modelo con horquillas de 650/680 × 2200 mm que permite llevar dos paletas (o cestones) de 1000 × 1200 mm o tres cestones de 800 × 800 mm o 1000 × 800 mm. Este modelo es empleado en los almacenes para la preparación de pedidos.

Disposición de las paletas. Deben tomarse las mismas precauciones que en las transpaletas manuales, en cuanto al centrado y a la longitud de las horquillas con respecto a ellas.

Ruedas. En general, son metálicas, debiendo ir necesariamente provistas de bandas de goma. Los rodillos y estabilizadores son de nylon, debiéndose descartar los de baquelita y otros materiales plásticos.

Distancias a recorrer. Los recorridos máximos que pueden realizar estas máquinas debemos fijarlos en los 100 metros. Para distancias mayores hay que pensar ya en carretillas contrapesadas, en razón de su mayor velocidad de desplazamiento y de maniobra.

Transplataformas eléctricas

Estos vehículos constituyen una variante de las transpaletas eléctricas en

Copyrighted material

que puedan tanto transportar como elevar cargas paletizadas, en general de más de 1000 kg, y apilarlas o almacenarlas en estanterías. Debidamente equipadas, con los dispositivos adecuados para cada caso, pueden también manipular cargas no paletizadas y realizar otras operaciones de almacenaje y producción.

Figura 85. Carretilla contrapesada.

Aunque las carretillas elevadoras nacieron en los Estados Unidos en los años veinte, su proliferación no se produjo hasta después de la Segunda Guerra Mundial, durante la cual su desarrollo fue espectacular. La necesidad de realizar rápidamente las operaciones de carga y descarga de material bélico, especialmente en los puertos norteamericanos, fomentaron la utilización de las carretillas, entonces con motor a gasolina, mejorándose continuamente para poder elevar cargas cada vez mayores y más pesadas, con la utilización del mínimo espacio de almacenamiento y maniobra. Y de la inicial y casi exclusiva utilización del motor a gasolina se pasó a los motores diesel, a los de gases licuados de petróleo y a los eléctricos.

La carretilla elevadora contrapesada (figura 85) es, sin lugar a dudas, el dispositivo de movimiento de materiales más universal, que no puede faltar en ninguna industria, taller o almacén importante pero que ya va siendo imprescindible también en los medianos y pequeños.

Copyrighted material

Carretillas contrapesadas

Estas carretillas, en general, se fabrican *por familias*, en función de la capacidad del chasis.

La gama más corriente es la que se indica en la figura 86. Esta clasificación no es universal ni rigurosa ya que cada marca establece la propia, pero es a la que, aproximadamente, se adaptan todas. Como podemos ver, entre las distintas familias hay un solape con lo que, aparentemente, parece que una misma necesidad pueda satisfacerse con máquinas distintas. Pero no es así.

Figura 86. Familias de carretillas contrapesadas.

Las familias de carretillas contrapesadas más habituales son las siguientes:

500 a 900 kg	
1000 a 2000 kg	Hay solape
2000 a 3000 kg	Hay solape
3000 a 4500 kg	Hay solape
4500 a 6000 kg	Hay solape

En cada familia, los vehículos del extremo superior se recomiendan para aquellos casos en que la carga media a manipular es ligera o en que se hará poco uso de la carretilla.

Por ejemplo, si en una empresa se manipulan, habitualmente, cargas de 1.500 kg pero de vez en cuando se reciben de un proveedor cajas que pesan 2.000 kg, aconsejaríamos una carretilla de 2.000 kg de la gama de 1.000 a 2.000 kg, perfectamente adaptada para esa mayoría de cargas de 1.500 kg y más barata que la carretilla de 2.000 kg de la familia siguiente. Igualmente recomendaríamos esa carretilla a una empresa que sólo recibiera 3 o 4 paletas de 2.000 kg por semana y que no tuviera que utilizar la carretilla para nada más.

Los vehículos del extremo inferior se utilizarán en aquellos casos en que la carga media a manipular sea grande o cuando se haga un uso intensivo de la carretilla. Por ejemplo, si en una empresa se manipulan habitualmente paletas de 2.000 kg, aconsejaríamos una carretilla de la gama de 2.000 a 3.000 kg. Lo mismo haríamos si en una fábrica se manipularan paletas de 1.500 kg y excepcionalmente de 2.000 kg, pero la carretilla trabajara 16 horas al día.

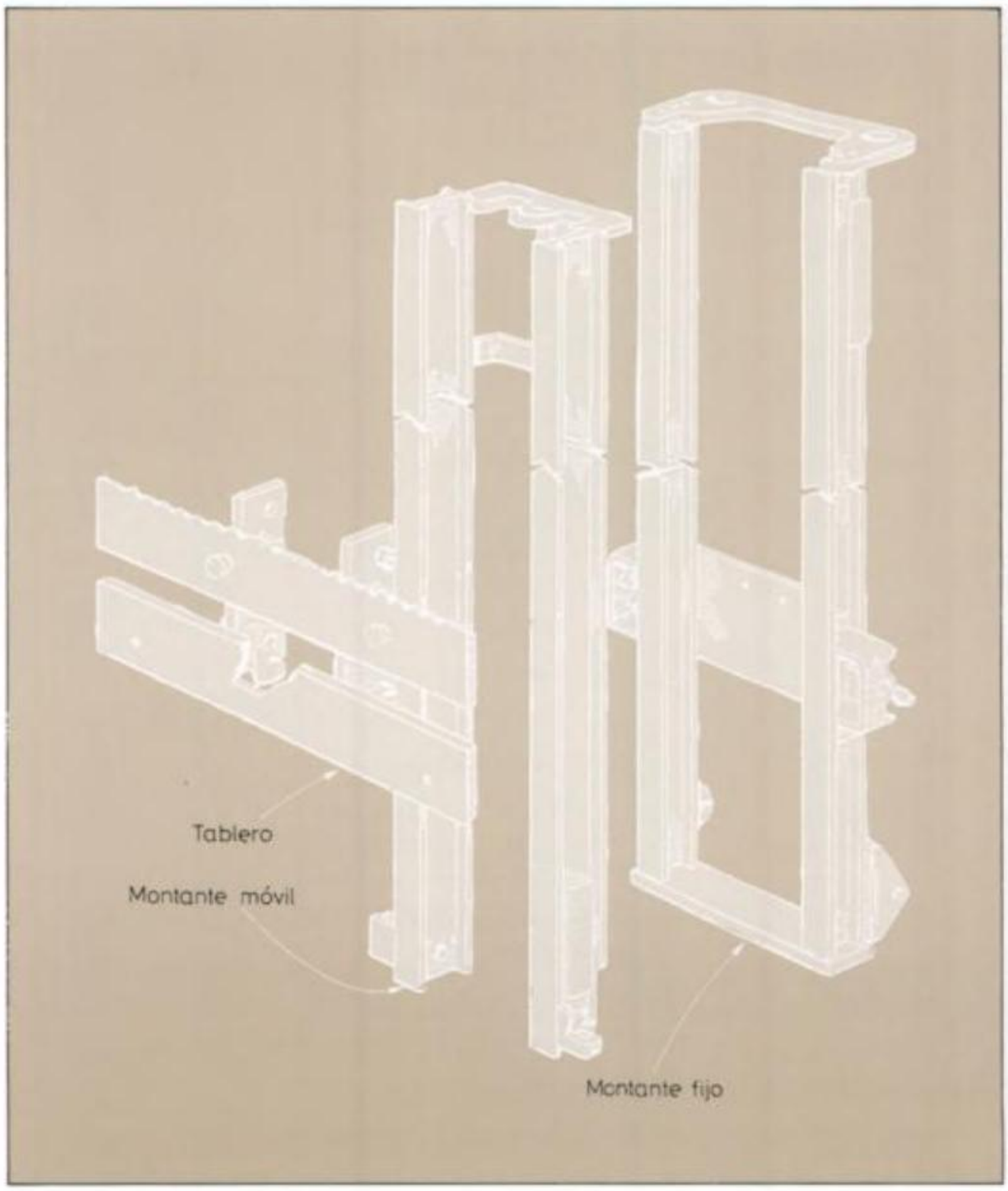
Téngase en cuenta, para apoyar una decisión, que el costo operativo y de reparación de las máquinas situadas en el extremo inferior de una familia es bajo (ya que trabajan "aliviadas"), y alto el de las situadas en el extremo superior (ya que trabajan "forzadas").

Lógicamente, el coste de adquisición es más alto para las carretillas de una determinada capacidad situadas en el extremo inferior de una familia que para las situadas en el extremo superior de la familia anterior.

Copyrighted material

tes por la acción de los cilindros de elevación y de las cadenas. En general, es inclinable hacia adelante, movimiento que se realiza para facilitar la colocación de las unidades de carga en las estanterías o en las pilas, y para atrás, movimiento que se realiza para que las cargas apoyen sobre el tablero durante el transporte con lo que disminuye la posibilidad de un desplazamiento, en caso de una mala maniobra o de una irregularidad en el pavimento.

Figura 88. Conjunto elevador. Suelen ser de 2, 3 y, excepcionalmente, 4 montantes, a fin de poder dejar la carga a gran altura manteniendo baja la de la carretilla y facilitar el paso por las puertas de los edificios.



El movimiento de inclinación lo realizan dos cilindros de doble efecto, fijos al chasis y articulados, según modelos,

— a media altura: el montante pivota sobre su borde inferior.
— a nivel del carter: el montante pivota sobre la parte superior del chasis.
— a nivel del tejadillo de protección: el montante pivota sobre su borde inferior (disposición utilizada en las carretillas de gran tonelaje).

Copyrighted material

b) *Los montantes telescópicos.* Son los pórticos que se desplazan en el interior del montaje fijo y sobre uno de los cuales se desplaza el tablero en el que van montadas las horquillas que se utilizan para tomar la carga. De no llevarlos, la altura de elevación de la carretilla quedaría limitada por la altura del montante fijo; en cambio, con ellos es posible elevar la carga a alturas superiores a las del propio conjunto elevador replegado.

Los conjuntos elevadores telescópicos pueden estar formados por varios montantes como se indica en la figura 88.

c) *El o los cilindros de elevación.* Son los elementos que desplazan los montantes, directamente o por intermedio de una o dos cadenas, y el tablero, siempre por intermedio de las cadenas.

d) *Los elementos de guía y ajuste de los montantes.* A fin de regular la holgura entre los distintos montantes y facilitar su desplazamiento relativo van provistos de rodillos con cojinetes a bolas y en otros casos con patines de bronce o latón.

Altura mínima total:	Altura de la carretilla con el conjunto elevador replegado.
Altura de elevación:	Altura a la que hay que elevar una carga.
Altura de elevación máxima:	Altura máxima a la que una carretilla puede elevar una carga.
Altura máxima total:	Altura de la carretilla con el conjunto elevador desplegado.
Altura de elevación libre:	Máxima elevación de las horquillas sin que empiecen a desplegarse los montantes telescópicos.

Figura 89. Alturas características de una carretilla elevadora.

En su desplazamiento, el conjunto elevador alcanza diversas alturas características cuya denominación conviene conocer y que hemos relacionado en la figura 89.

Tablero

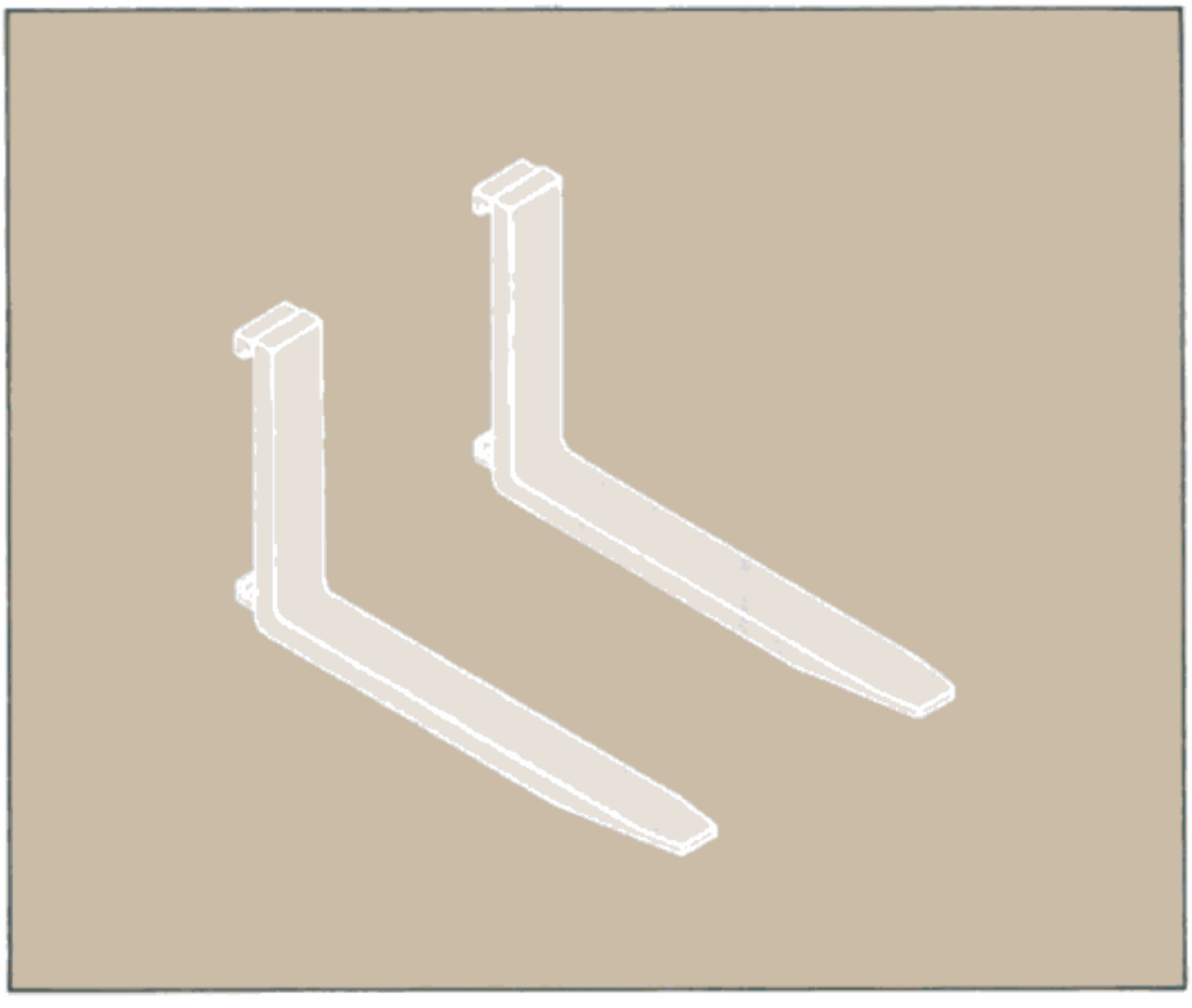
Es el elemento (figura 88) al que van sujetas las horquillas y está normalizado, en Europa, en cuatro clases, I a IV, función de la capacidad de la carretilla. Esta normalización es obligada para que sea posible la intercambiabilidad de horquillas y accesorios. Al adquirir una carretilla de fabricación extranjera debe comprobarse que el tablero cumpla con las normas que son de aplicación en el país pues las normas FEM de aplicación en la Europa occidental, las norteamericanas, las japonesas y las del Este difieren entre sí. En caso contrario, podría suceder que no fueran acoplables los accesorios que, en el futuro, quisiéramos montar en la carretilla.

Copyrighted material

Horquillas

Son el accesorio más corriente (figura 90). Sus dimensiones son función de la capacidad nominal de la carretilla en la que van montadas y se han calculado teniendo en cuenta que las elevaciones se han de hacer con las dos horquillas a la vez. Por este motivo,

Figura 90. Horquillas. Su sección varía en función de la capacidad de la carretilla en la que van montadas.



— no deberán hacerse elevaciones con una sola horquilla, pues con ello se las somete a un esfuerzo para el que no han sido calculadas.

— no deberán hacerse elevaciones de cargas que sobrepasen la capacidad nominal de la carretilla, por el mismo motivo.

— no deben hacerse reparaciones a soplete, que modificarían el tratamiento térmico del acero, produciendo un deterioro de sus cualidades.

— cuando, por cualquier circunstancia, deban cambiarse hay que hacerlo por pares, para que las deformaciones por fatiga sean del mismo orden y no se cargue más la una que la otra, con el consiguiente peligro de desnivelación y rotura.

Chasis o bastidor

Es la estructura, de acero, a la que van fijados todos los demás elementos de la carretilla. Es único para cada familia y sus dimensiones son función de la gama de capacidades de ésta: a mayor capacidad, mayores dimensiones, lo que también afecta al radio de giro y al espacio necesario para maniobrar.

Copyrighted material

en las plantas embotelladoras; aunque en las plantas modernas esto no se produce, en algunos países puede constituir un serio inconveniente.

Por todo lo dicho, los motores de GLP no han tenido el éxito que era de esperar y los más utilizados son, sin duda, los motores diesel.

Transmisión

Las carretillas elevadoras pueden ir equipadas con distintos tipos de transmisión y para su selección debemos tener en cuenta que una carretilla es un elemento de transporte pero no es un camión, pues además de desplazar las cargas horizontalmente debe elevarlas. Cuando una carretilla se acerca a una estantería o a una estiba debe realizar simultáneamente un movimiento de aproximación lenta a la estiba y otro de elevación rápida. Para ello, el conductor debe desacoplar parcialmente el motor de la transmisión pero conservando suficiente potencia para la bomba de elevación. Esa doble operación es la que condiciona el tipo de transmisión más adecuado para una carretilla.

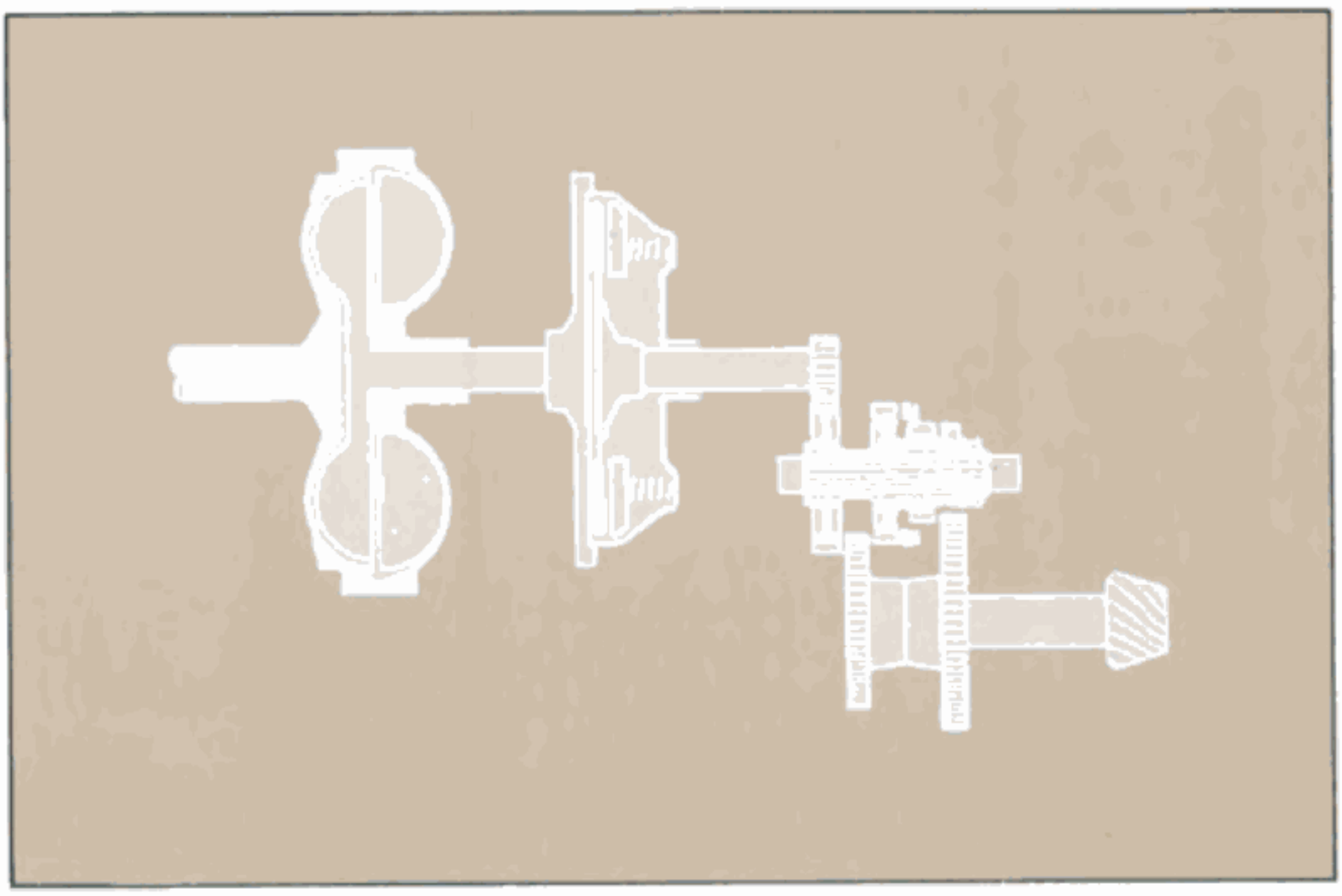


Figura 91. Acoplador hidráulico. Une elásticamente el motor al embrague.

Embrague seco

Esta disposición es la misma que se emplea en los automóviles utilitarios. La cadena cinemática está formada por:

Motor—embrague—caja de cambios—ruedas

Este sistema tiene la ventaja de que suministra una unión mecánica rígida con una pérdida mínima de potencia, lo que la hace apta para subir rampas, arrastrar remolques y accionar una cuba paleadora. Pero tiene el inconveniente de la duración limitada del embrague y de que la conducción se hace fatigosa: como se puede calar el motor, el conductor tiene que actuar constantemente sobre el embrague.

Copyrighted material

Acoplador hidráulico

En esta disposición, la cadena cinemática la constituyen:

Motor – acoplador – embrague – caja de cambios – ruedas

El acoplador (figura 91) actúa de junta elástica. Podemos obtener una representación esquemática si, como en la figura 92, colocamos dos ventiladores enfrentados: el que está conectado hace girar al desconectado cuando la masa de aire tiene fuerza suficiente. En el acoplador hidráulico el aire ha sido reemplazado por aceite, pero funciona de la misma manera.

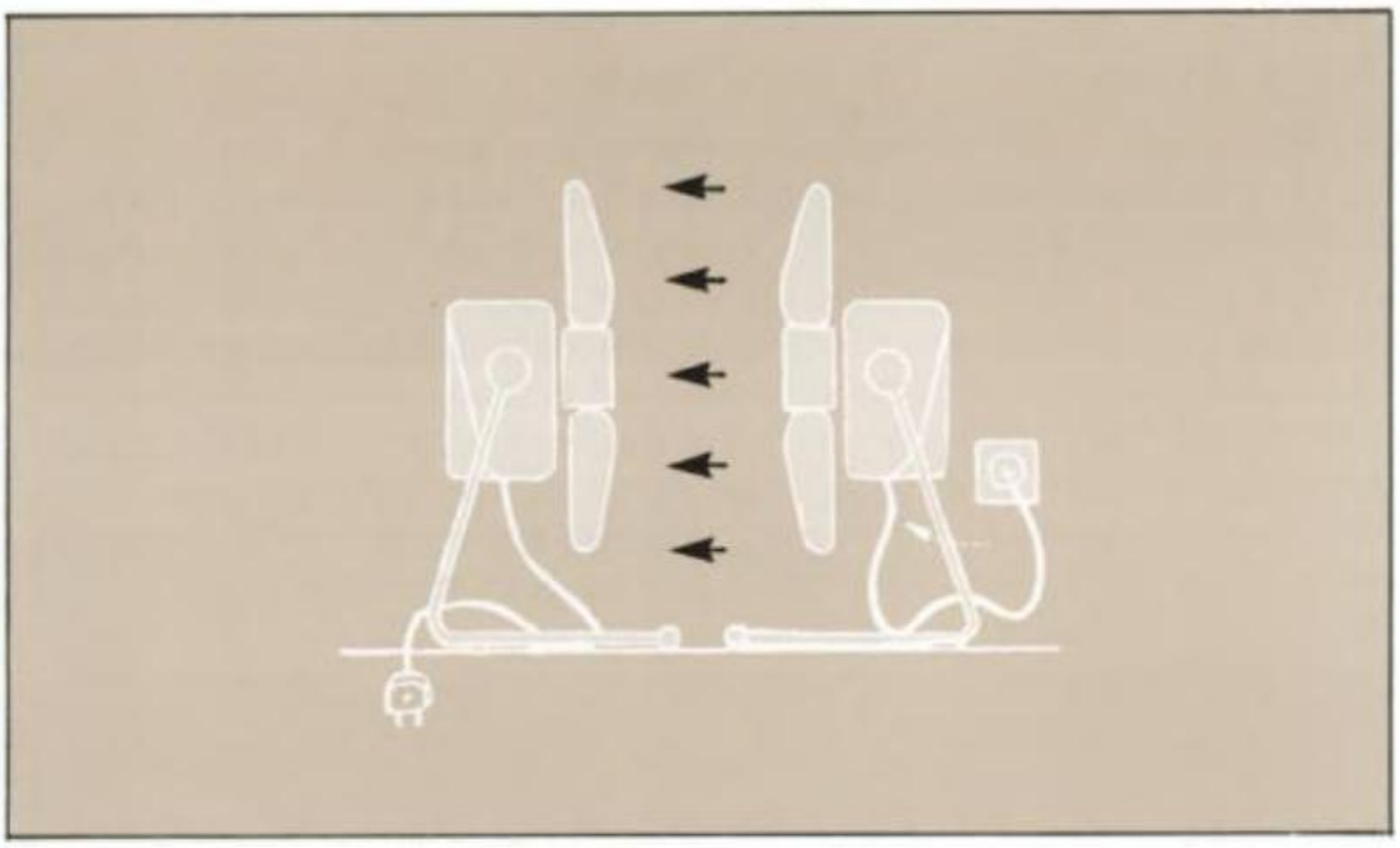


Figura 92. Símil del funcionamiento de un acoplador hidráulico. El ventilador desconectado es arrastrado por la masa de aire interpuesta.

Esta transmisión tiene la ventaja de que proporciona una unión elástica con lo que el motor no se cala, pudiéndose incluso frenar sin desembragar. Se reduce notablemente el desgaste del embrague y la conducción es mucho menos dura, permitiendo una mayor progresividad en las maniobras de paro y arranque. Pero tiene el inconveniente de que es menos adecuada para subir rampas y para el remolcado, siendo absolutamente inadecuada para palear. (En este caso, una cuba sólo se puede utilizar para transportar; la carga debemos hacerla a partir de un silo, una cinta transportadora u otro medio).

Transmisión hidrostática

De esta transmisión, que no está unida mecánicamente al motor térmico sino hidráulicamente, se ofrecen, varias variantes, la más simple de las cuales presenta la siguiente cadena cinemática:

Bomba hidráulica – motor hidráulico –
– transmisión mecánica – ruedas

y no lleva pedal de freno. La combinación más completa es la formada por una bomba hidráulica que mueve dos motores hidráulicos directamente acoplados a las ruedas motrices, y que puede o no ir provista de pedal de freno.

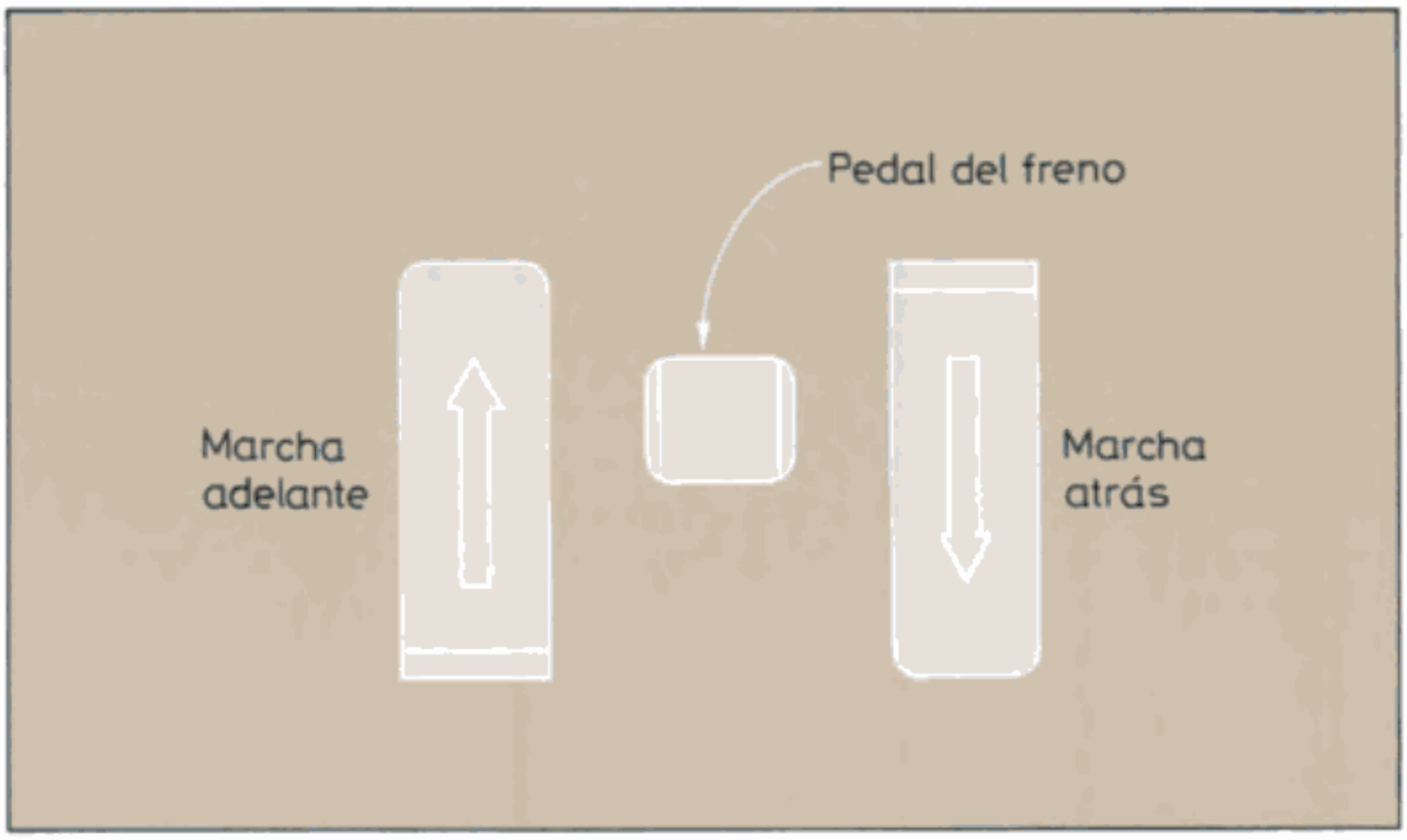
Copyrighted material

En esta última solución que es la que adoptan los modelos más modernos, la bomba hidráulica es de caudal variable y de alta presión, aunque utilizada a presión media; los motores hidráulicos son de caudal fijo, independientes y acoplados, sin necesidad de reducción intermedia, a la rueda correspondiente.

Podemos citar como sus principales ventajas: instantánea respuesta al acelerador y gran "reprise"; gran sensibilidad que permite avances milimétricos, incluso con fuertes pendientes; frenado hidrostático por desaceleración, aunque va equipado con un freno de pedal (freno de seguridad) y un freno de mano (freno de estacionamiento). Debemos destacar el pedal de "aproximación lenta", mediante el cual se puede variar a voluntad del conductor la velocidad de traslación, manteniendo alta la velocidad de la bomba hidráulica del circuito de elevación.

Sin embargo, los inconvenientes son también muchos: la disposición de los pedales (figura 93), requiere gran habilidad del conductor y, como es completamente distinta de la de las demás carretillas y de la de los automóviles, dificulta el paso de una máquina con acoplador hidráulico a una hidrostática, con el consiguiente peligro de accidentes; el frenado es brusco y si bien no hay desgaste del embrague se produce gran desgaste en los neumáticos; para invertir la marcha hay que parar. Por otro lado, los elementos hidráulicos son delicados, propensos al desgaste, caros de reparar y sus averías requieren la intervención de especialistas; la vida de la transmisión es más corta y no es apta para altas velocidades.

Figura 93. Disposición de los pedales en las carretillas con transmisión hidrostática. Al ser tan diferente de la de un automóvil, la conducción de carretillas con este tipo de transmisión puede crear problemas de adaptación.



En resumen, no hay ventajas apreciables de la transmisión hidrostática con respecto a la hidrodinámica. Aquélla es más simple de construir para el fabricante, es más compacta y tiene el centro de gravedad más bajo, por lo que para el usuario la selección será función del precio. Una cosa sí es importante: No se deben mezclar parques, por el riesgo de accidente que presenta el que un conductor deje una carretilla con acoplador hidráulico y pase a maniobrar una hidrostática, como hemos comentado más arriba.

Copyrighted material

Motores eléctricos

El otro tipo de motor que equipa las carretillas elevadoras es el eléctrico. Quizá una característica de estos motores que hemos de hacer notar es que, para servicios similares, las carretillas eléctricas llevan motores más pequeños que las térmicas. Ello se debe a que si a un motor de explosión se le impone un esfuerzo demasiado grande, para sus características, se calará, por lo que se debe elegir para un determinado trabajo un motor de potencia tal que pueda superar el esfuerzo excepcional de los momentos punta. Los motores eléctricos, por el contrario, son capaces de soportar, durante un cierto tiempo, esfuerzos superiores a aquellos para los que fueron calculados.

Por eso, para un mismo servicio, las carretillas eléctricas llevan motores de menor potencia que las carretillas con motor térmico.

Potencia. La potencia, en los motores eléctricos, se indica en función del tiempo en que pueden funcionar al límite admisible de calentamiento correspondiente a su tipo de aislamiento, seguido del tiempo necesario para conseguir su enfriamiento.

Los tipos de aislamiento definen las temperaturas máximas de calentamiento que pueden alcanzar los motores sin afectar a su funcionamiento.

Clase Y	90 °C
Clase A	105 °C
Clase E	120 °C
Clase B	130 °C
Clase F	155 °C
Clase H	180 °C
Clase C	por encima de los 180 °C

Figura 94. Aislamiento de los motores eléctricos.

— Potencia de servicio continuo: Es la potencia que se puede mantener por *tiempo indefinido* con el motor funcionando al límite admisible de calentamiento.

— Potencia de servicio unihorario: Es la potencia que se puede mantener durante *una hora* de funcionamiento ininterrumpido sin sobrepasar el límite admisible de calentamiento.

— Potencia de servicio semihorario: Es la potencia que se puede mantener durante *media hora* de funcionamiento en las mismas condiciones.

— Potencia de servicio 5 minutos: Las mismas condiciones limitadas a *cinco minutos.* En muchos folletos, esta característica se indica como potencia "máxima".

— Potencia de servicio 2 minutos: Las mismas condiciones limitadas a *dos minutos.* Algunas marcas indican esta característica como potencia "excepcional". Generalmente, en estos casos se está muy cerca del máximo admisible y un error de apreciación puede dañar el motor.

Copyrighted material

Tipos de aislamiento. Los aislamientos que definen las temperaturas límites de calentamiento que pueden alcanzar los motores sin que resulten afectados, de acuerdo con las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional, ICE, son los que se detallan en la figura 94. De acuerdo con esta tabla un motor con aislamiento clase F, de 3,0 kW en régimen unihorario, puede suministrar una potencia de 3 kW durante una hora y alcanzar una temperatura de 155 grados centígrados sin que resulte afectado ninguno de sus componentes (aislamiento, escobillas, etc.).

Tipo de corriente. Aunque algunas carretillas con motor eléctrico se alimentan de la red, la inmensa mayoría toman la energía de las baterías que transportan, lo que las libera del cable que, de otra manera, debería conectarlas permanentemente a la línea. Esto también condiciona una de las características del motor que, en consecuencia, ha de ser de corriente continua.

Baterías de tracción

Se entiende por batería eléctrica, un conjunto de elementos acumuladores de energía, capaces de suministrarla de nuevo, en forma de energía eléctrica, cuando son conectados debidamente a los aparatos que necesitan consumirla para funcionar.

Las baterías eléctricas se cargan mediante energía eléctrica que acumulan en forma de energía química que luego restituyen otra vez en forma de energía eléctrica. Este proceso se puede conseguir mediante distintos tipos de baterías entre los que citaremos:

– Baterías de ácido-plomo, en las que la materia activa es una aleación de plomo y el electrólito una solución de ácido sulfúrico. Son las más utilizadas en los vehículos de transporte y movimiento de cargas.

– Baterías de ferro-níquel, en las que las placas están formadas por tubos de acero rellenos con capas alternadas de hidróxido de níquel y de níquel metálico y el electrólito es de hidróxido potásico. Son más ligeras que las anteriores, más sólidas, de más duración y prácticamente sin mantenimiento pero son de elevado coste, motivo por el cual no se utilizan en movimiento de materiales.

Dentro de las baterías eléctricas podemos distinguir las baterías de arranque y las de tracción. Las primeras son las que se utilizan para suministrar la energía necesaria a los motores de arranque de los motores de los vehículos automóviles, por ejemplo. Las segundas son las que suministran la energía necesaria a los motores de tracción de las carretillas elevadoras y a otros muchos vehículos de tracción eléctrica. Las primeras deben suministrar, en unos segundos, en el momento de su conexión al motor de arranque, casi toda la energía acumulada. Las de tracción, en cambio, la deben suministrar paulatinamente, durante toda la jornada de trabajo. Por eso, la constitución de unas y otras es diferente.

Las baterías de tracción están formadas por varios *elementos acumuladores,* conectados en serie, en cantidad que depende de la tensión eléctrica, del *voltaje,* que hayan de suministrar. Según el tamaño y otras características de esos elementos variará la intensidad de la corriente, el *amperaje,* que podrán suministrar.

Copyrighted material

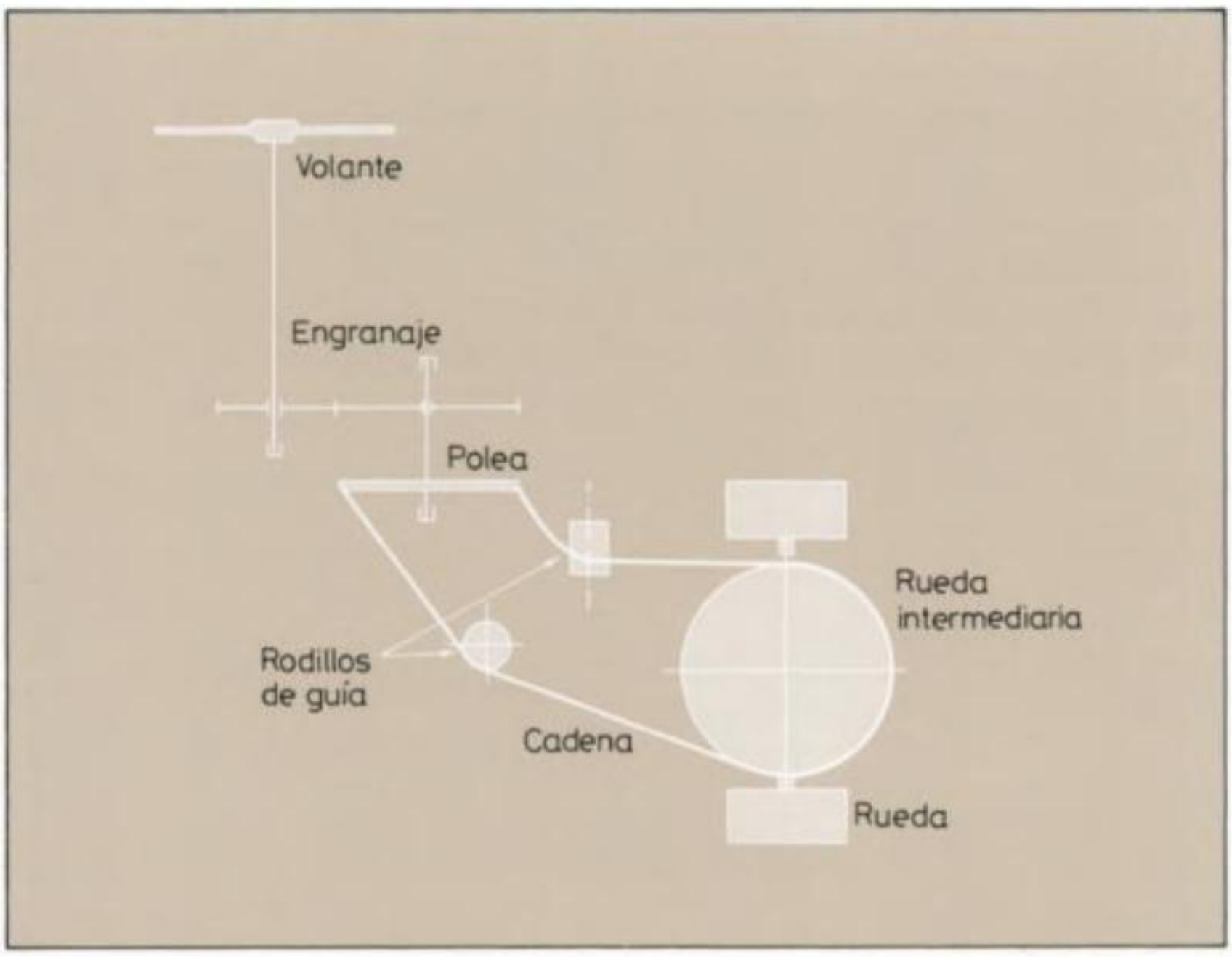


Figura 97. Esquema de la dirección manual de que van provistas muchas carretillas eléctricas ligeras.

Dirección manual. Dentro de este tipo de dirección debemos considerar dos variantes:

a) La compuesta por volante y columna de dirección, caja de dirección, palanca y barra de dirección (figura 96), que es similar a la que equipan muchos automóviles, y

b) La compuesta por volante y columna de dirección, un engranaje, una polea, una cadena, unos rodillos de guía y una cadena intermediaria (figura 97), que es el tipo de dirección que va instalado en muchas carretillas eléctricas ligeras.

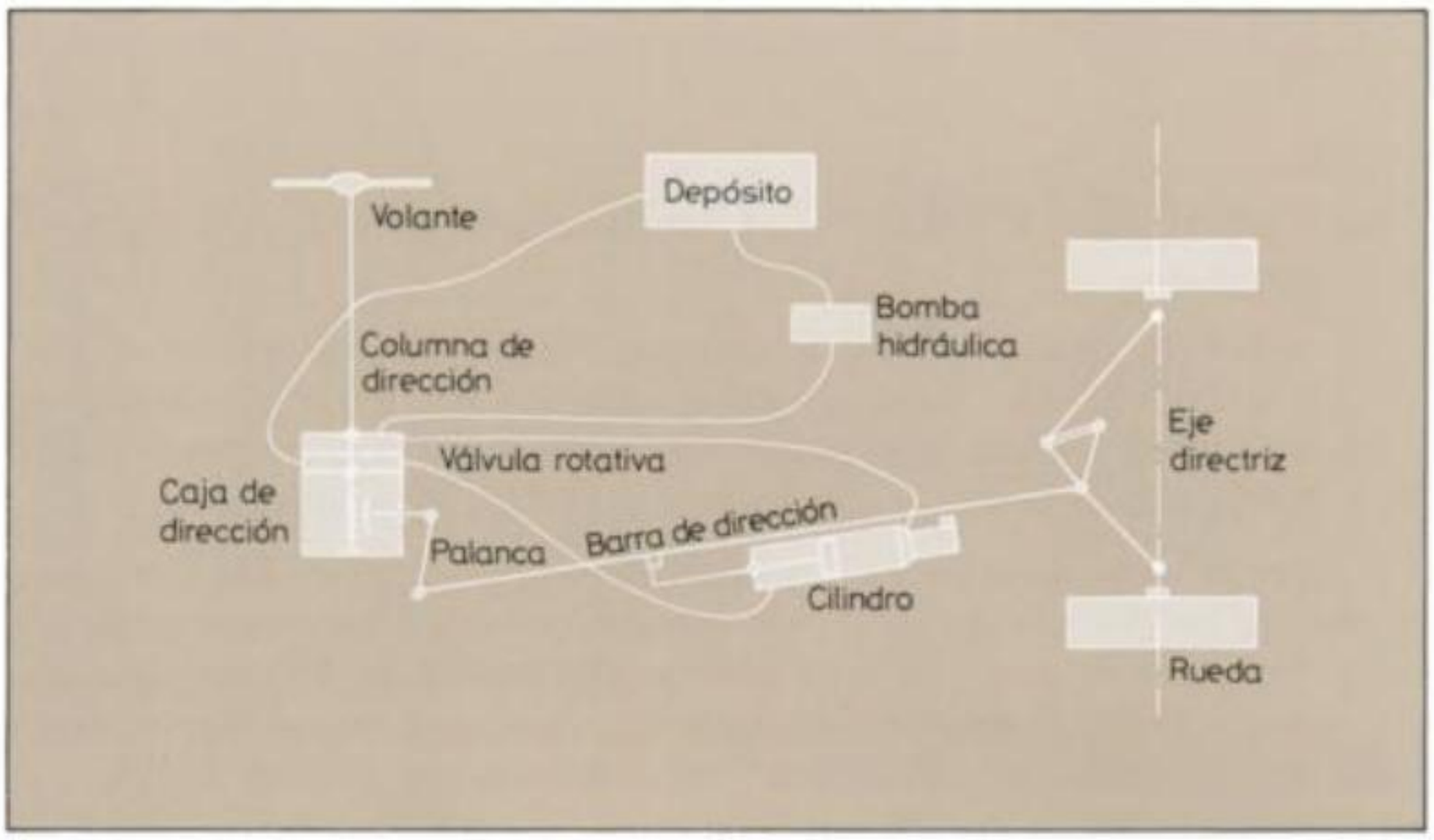


Figura 98. Esquema de una dirección asistida. Es una dirección manual ayudada hidráulicamente.

Copyrighted material

Dirección asistida. Este tipo de dirección es una dirección manual ayudada hidráulicamente cuando el motor está en marcha (figura 98). Cuando el motor está parado es una simple dirección manual.

Dirección hidrostática. Es una dirección de accionamiento exclusivamente hidráulico (figura 99). Sus elementos fundamentales son la bomba, el distribuidor y el cilindro de dirección. La bomba envía un caudal de aceite al distribuidor que, al mover el volante a derecha o a izquierda, lo envía al cilindro por uno u otro extremo moviendo las ruedas correspondientemente.

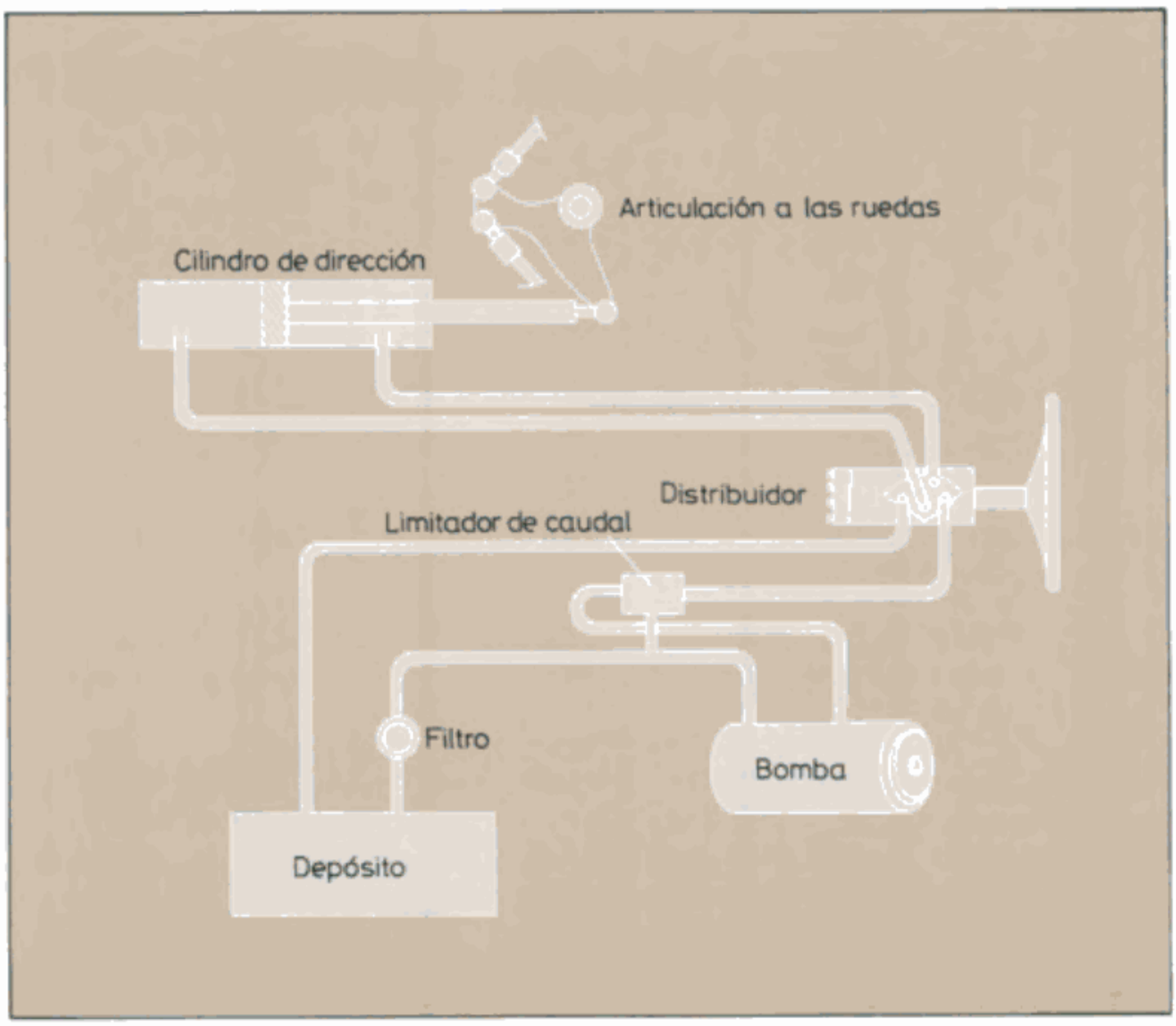


Figura 99. Esquema de una dirección hidrostática. Al mover el volante, el distribuidor envía el aceite a uno u otro extremo del cilindro, moviendo las ruedas a derecha o a izquierda.

Ruedas

Las ruedas de las carretillas elevadoras pueden ir provistas de bandajes o de neumáticos.

Los bandajes (figura 100) son bandas de rodadura macizas o, modernamente, alveoladas, de goma natural o sintética, montadas directamente sobre las llantas. Todavía se ven algunas carretillas equipadas con este tipo de ruedas, pero se tiende a reemplazarlas por los neumáticos.

Los neumáticos (figura 100), similares a los empleados en los camiones, se utilizan en dos variantes: los de cámara de aire y los impinchables, a veces llamados neumáticos superelástic. Los primeros, de sobra conocidos, tienen el inconveniente de estar sujetos a pinchazos que pueden llegar a ser frecuentes en ciertas industrias en las que es habitual la presencia de virutas, vidrios, alambres y otros residuos por las zonas de

Copyrighted material

Figura 100. Ruedas equipadas con bandajes y con neumáticos.

circulación de las carretillas. Esta circunstancia promovió la aparición del neumático impinchable, en el que la cámara de aire es reemplazada por un relleno de material sintético esponjoso que ocupa la cavidad interna de la cubierta (ocupando el mismo volumen aunque con menor suspensión) y no resultando afectada si es atravesada, por ejemplo, por un clavo.

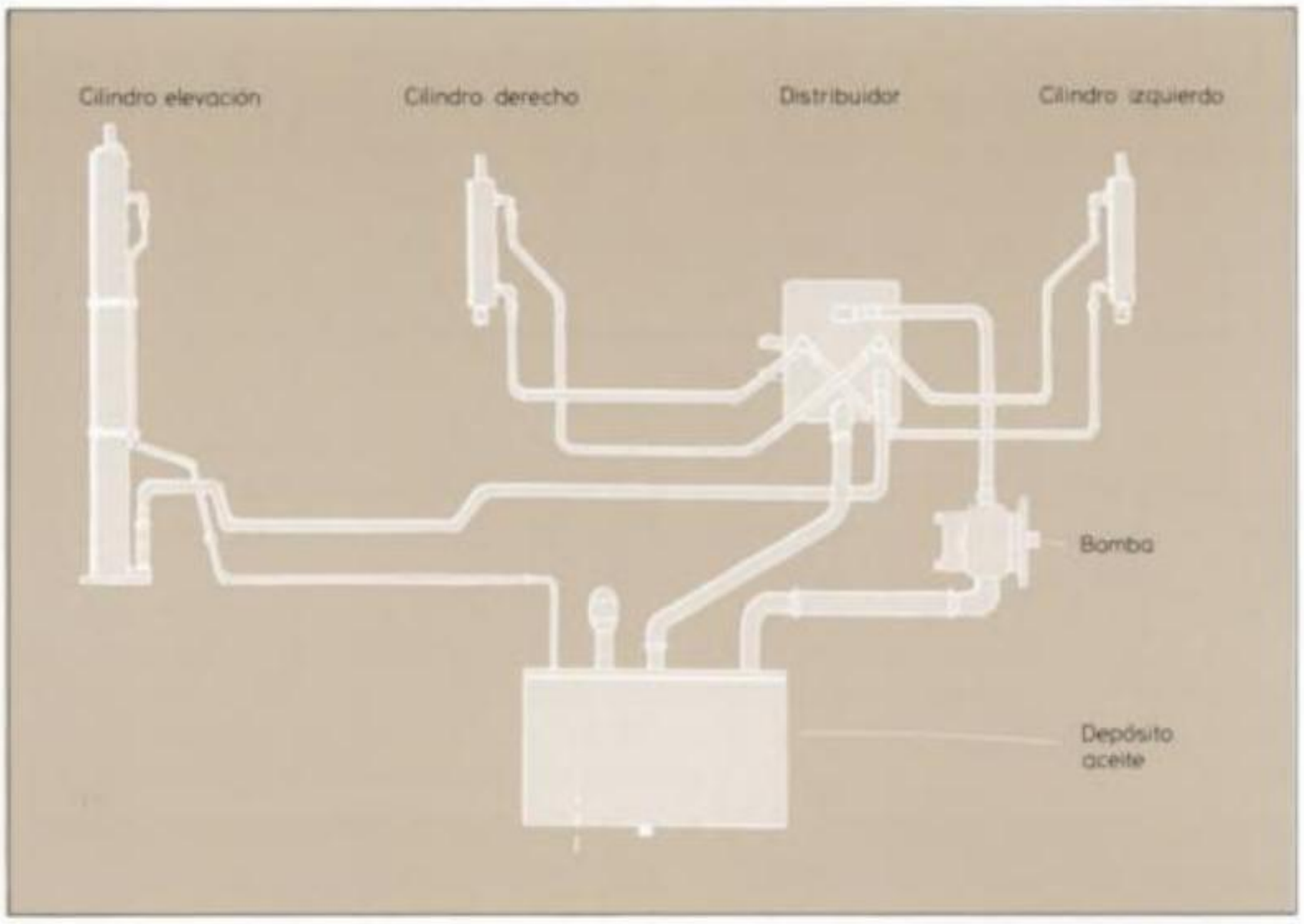


Figura 101. Esquema del conjunto hidráulico de una carretilla elevadora.

Copyrighted material

Conjunto hidráulico

Otro de los aspectos que diferencia una carretilla elevadora de un camión es la presencia en aquélla del conjunto hidráulico.

Esencialmente consta (figura 101) de la bomba, del distribuidor, de los cilindros y de las canalizaciones que unen unos con otros.

Los distribuidores son órganos que intercalados entre un emisor (en nuestro caso, la bomba) y un receptor (en nuestro caso, los cilindros) permiten, interrumpen o regulan la transmisión de energía de uno a otro.

En el caso de las carretillas elevadoras, constan de 2, 3 o 4 cuerpos, cada uno de ellos identificado exteriormente por su palanca. Cada cuerpo comanda una función, a la que corresponden dos movimientos: el primer cuerpo comanda la elevación/descenso de la carga, el segundo la inclinación adelante/atrás del conjunto elevador. Los otros dos, las distintas operaciones de los accesorios hidráulicos montados en la carretilla: desplazamiento lateral a derecha e izquierda, apertura/cierre de una pinza, rotación a derecha/izquierda de un tablero, etc.

Esos movimientos son realizados mediante los cilindros que pueden ser de dos tipos:

– De simple efecto, como los cilindros de elevación en los que el fluido hidráulico se introduce por su extremo inferior para elevar la carga al presionar el líquido al pistón; cuando se retira la presión, el propio peso de la carga la hace descender, retornando el aceite al depósito.

– De doble efecto, como los cilindros de inclinación, en los que, cuando el líquido entra por un extremo, el conjunto elevador se inclina hacia adelante y, cuando entra por el otro, se inclina hacia atrás. Los cilindros que equipan los accesorios son todos de doble efecto.

ACCESORIOS PARA CARRETILLAS ELEVADORAS

La versión más simple de una carretilla elevadora es aquélla que va equipada con un par de horquillas que, como ya hemos comentado en párrafos anteriores, es el dispositivo especialmente diseñado para la toma de paletas. Pero en muchos casos hay que manipular mercancías que no vienen paletizadas, a veces porque la unidad de carga se ha dispuesto, por ejemplo, en forma de bala o de bobina, a veces porque no conviene paletizarla, como es el caso del movimiento de ladrillos en la carga y descarga de sus hornos de cocción.

De esta necesidad surgieron los accesorios que son dispositivos que, montados en el tablero, en lugar de las horquillas o en algunos casos además de las horquillas, permiten realizar operaciones de desplazamiento de las cargas, de toma y suelta, de rotación y de vuelco.

Los accesorios pueden clasificarse en mecánicos e hidráulicos. Los primeros sin ningún tipo de movimiento o, a lo sumo, pequeños desplazamientos de clavijas o gatillos. Los segundos con accionamiento hidráulico desde el puesto del conductor y que de acuerdo con su diseño, más o menos complejo, pueden realizar uno, dos o tres movimientos diferentes, como veremos a continuación.

Copyrighted material

De los múltiples modelos disponibles en el mercado, detallaremos a continuación los más utilizados de entre los cuales podremos elegir el adecuado a las necesidades que se nos puedan presentar.

Accesorios mecánicos

Alargaderas

Cuando en una industria se manipula habitualmente un determinado tipo de paletas pero también es necesario, con cierta frecuencia, mover paletas de mayores dimensiones, se debe recurrir a las alargaderas que no son otra cosa que fundas que se colocan a las horquillas para que sean más largas (figura 102).

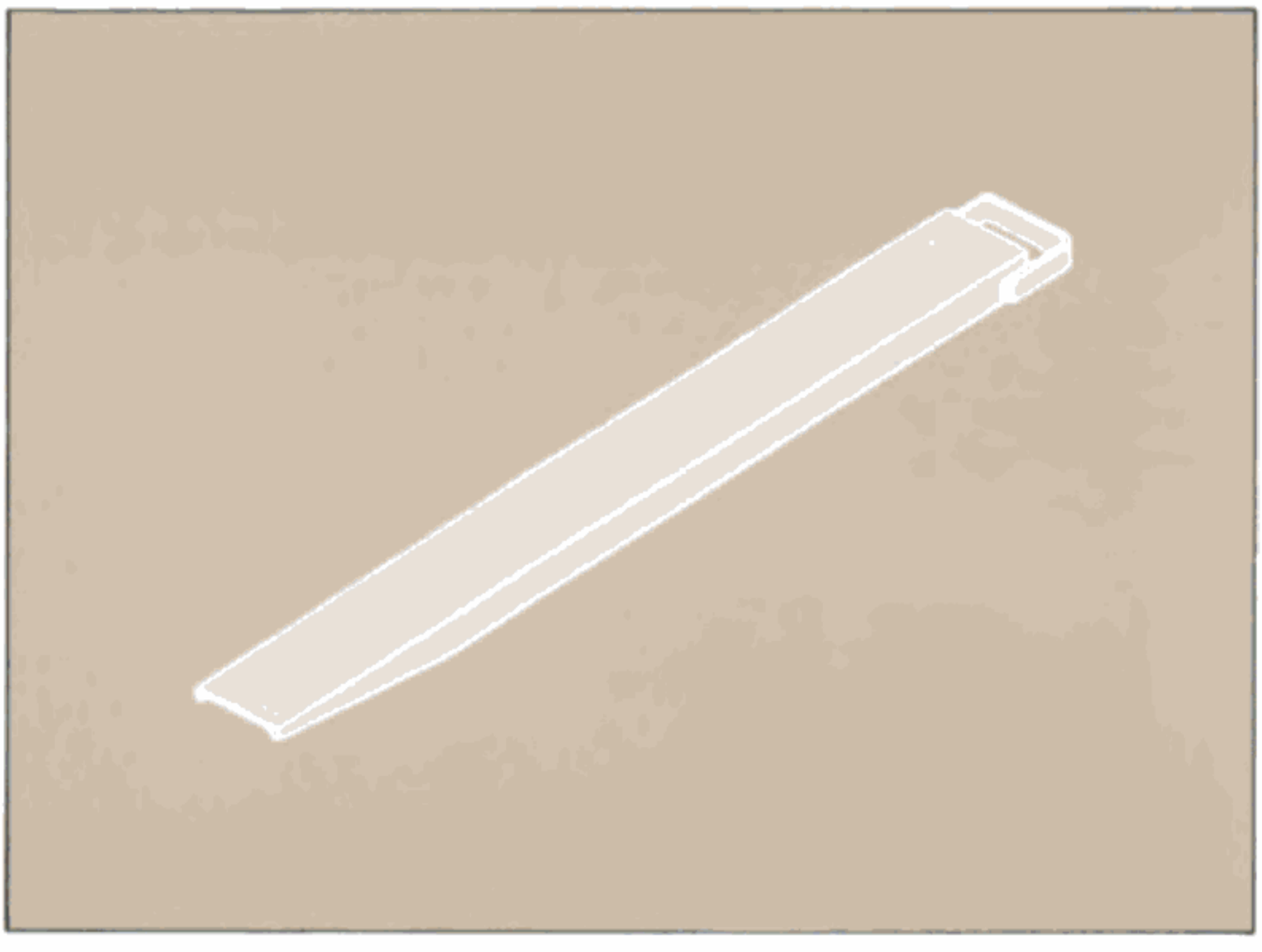


Figura 102. Alargaderas que permiten tomar paletas de profundidad mayor de la habitual.

Espolones

Como vemos en la figura 103, los hay de dos tipos: cortos y robustos, para el movimiento de grandes pesos con volúmenes relativamente pequeños, como coils de chapa de acero, bobinas de cables y productos similares, y largos y delgados, para la manipulación de alfombras.

Accesorios hidráulicos

Desplazador lateral

Es un accesorio que en la actualidad equipa, prácticamente, todas las carretillas elevadoras. Con él se pueden desplazar las cargas, a derecha o a izquierda, unos 10 a 20 cm, según los modelos. Es de aplicación en el apilado o para la colocación de cargas en estanterías si el conductor, al maniobrar, no ha colocado la carretilla bien en frente del lugar en el que

Copyrighted material

Tablero rotativo

Es un accesorio que podríamos denominar base, sobre el que se pueden acoplar otros, o acoplarle horquillas. Su función es rotar estos dispositivos a derecha o a izquierda (figura 104). Los hay con rotación hasta 180 º y hasta 360 ºC.

Cuerpo de pinza

Es otro accesorio base sobre el que se pueden atornillar o soldar horquillas o brazos estándar, u otros dispositivos y accesorios de diseño propio (figura 105).

Figura 105. Cuerpo de pinza, elemento básico de los accesorios que pueden tomar la carga por pinzado.

Pinzas para balas

Este accesorio permite manipular aquellas cargas que se presentan en forma de bala, fardo o bulto similar, a cuyo objeto los brazos se abren y cierran para efectuar la toma. Para evitar el resbalamiento, los brazos tienen en su cara interior unas láminas puestas de canto que mejoran el agarre al apretar la pinza. En la figura 106 se puede ver una pinza para balas de algodón, pero hay también otros modelos similares para balas de papel, por ejemplo, distintas por ser un material más compacto, para balas de espuma de poliuretano que son de grandes dimensiones y poco peso, etc.

Copyrighted material

Pinzas para cajas de madera

El modelo que se reproduce en la figura 107 ha sido especialmente pensado para el movimiento de productos que vienen en embalajes de madera, como verdura, fruta, pescado, etc.

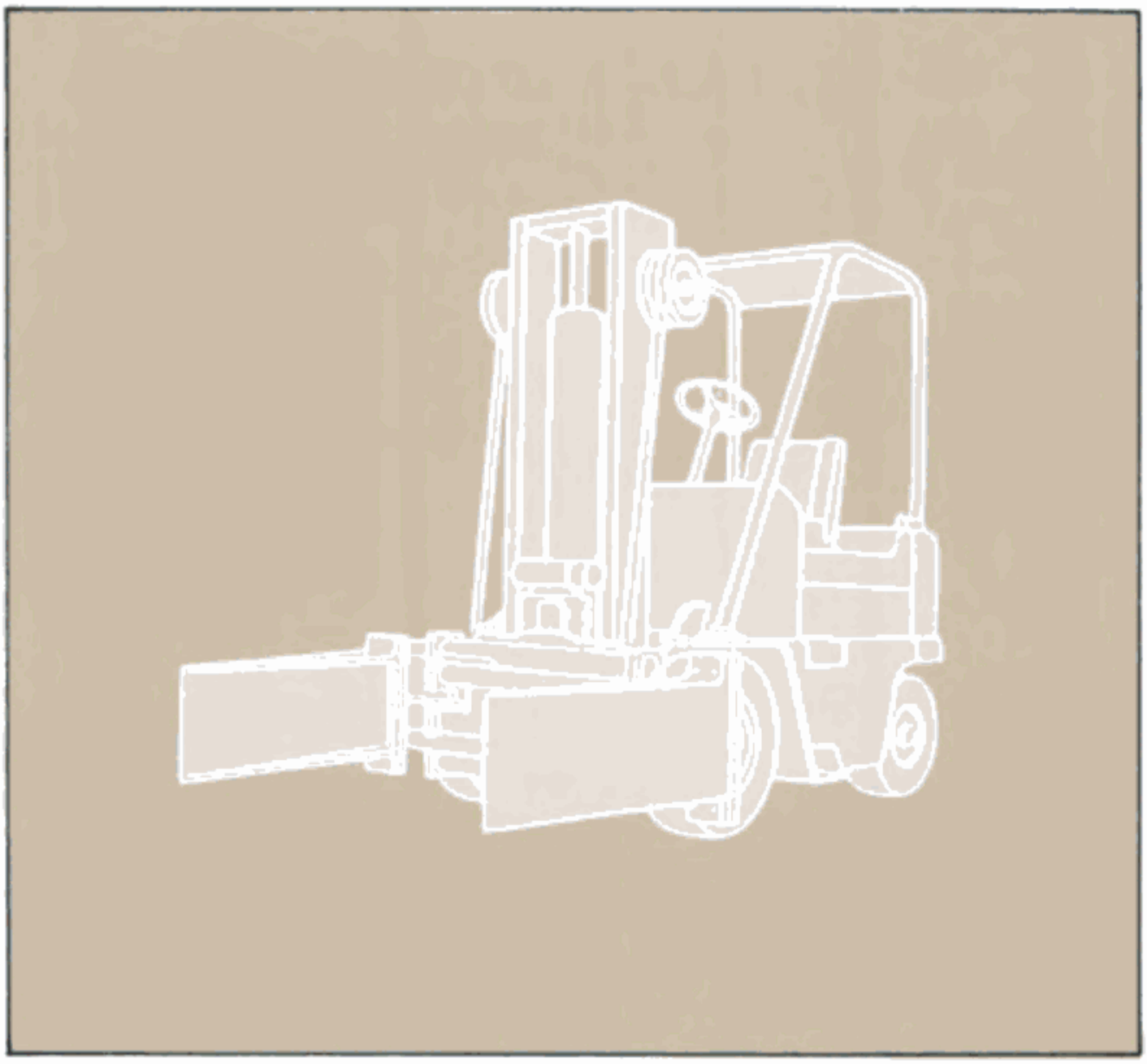


Figura 106. Pinza para balas de algodón. Hay modelos similares para balas de papel, de celulosa, etc.

Pinzas para electrodomésticos

Cuando las cajas son de cartón, de mayor tamaño que las anteriores, o que contiene electrodomésticos, aunque son fácilmente paletizables se tiende a su manipulación despaletizada, pues se consigue un mejor aprovechamiento del volumen de los almacenes y de los medios de transporte, aparte del ahorro que representa la eliminación de la paleta. Para ello se utiliza esta pinza (figura 108) cuya característica más destacable es que las grandes placas que constituyen sus brazos van revestidas de un material muelle y antideslizante para evitar daños al producto y, a la vez, para poder tomar varias filas y columnas de cajas sin que resbalen.

Pinzas para bidones

Este accesorio puede tomar 2 o 4 bidones de 180/220 litros (figura 109). Contrariamente a lo que, a primera vista, pudiera parecer, si se toman cuatro bidones, dos filas de dos, los primeros no se "escapan", pues lo impide la forma de los brazos.

Copyrighted material

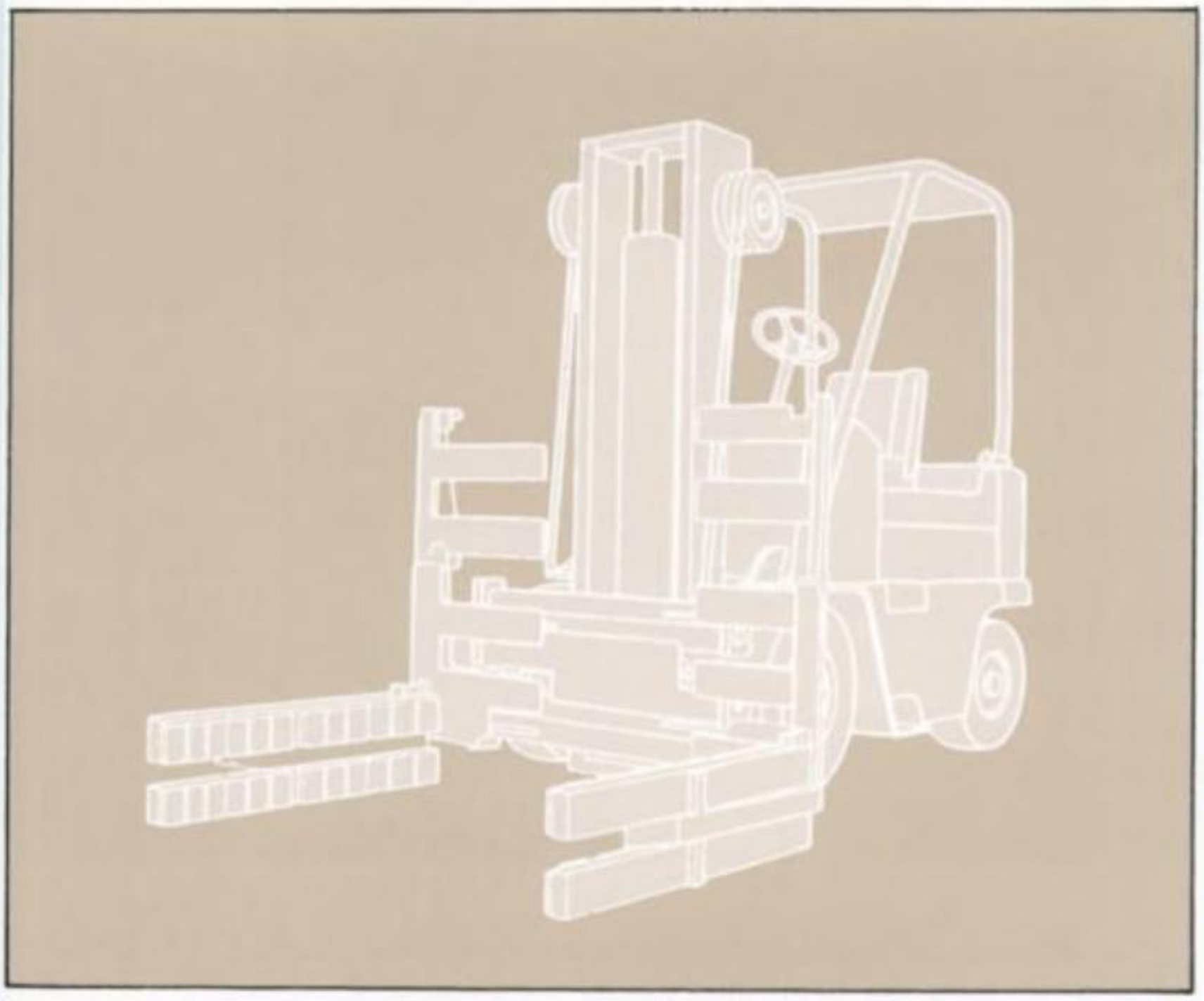


Figura 107. Pinza para cajas de madera como las que se usan para el envasado de verduras, frutas, pescado, etc.

Posicionador de horquillas

Cuando en un almacén o en una fábrica se reciben paletas de diferentes medidas, es necesario separar más o menos las horquillas para adaptar su posición al tamaño de la carga. Esto es posible mediante este accesorio

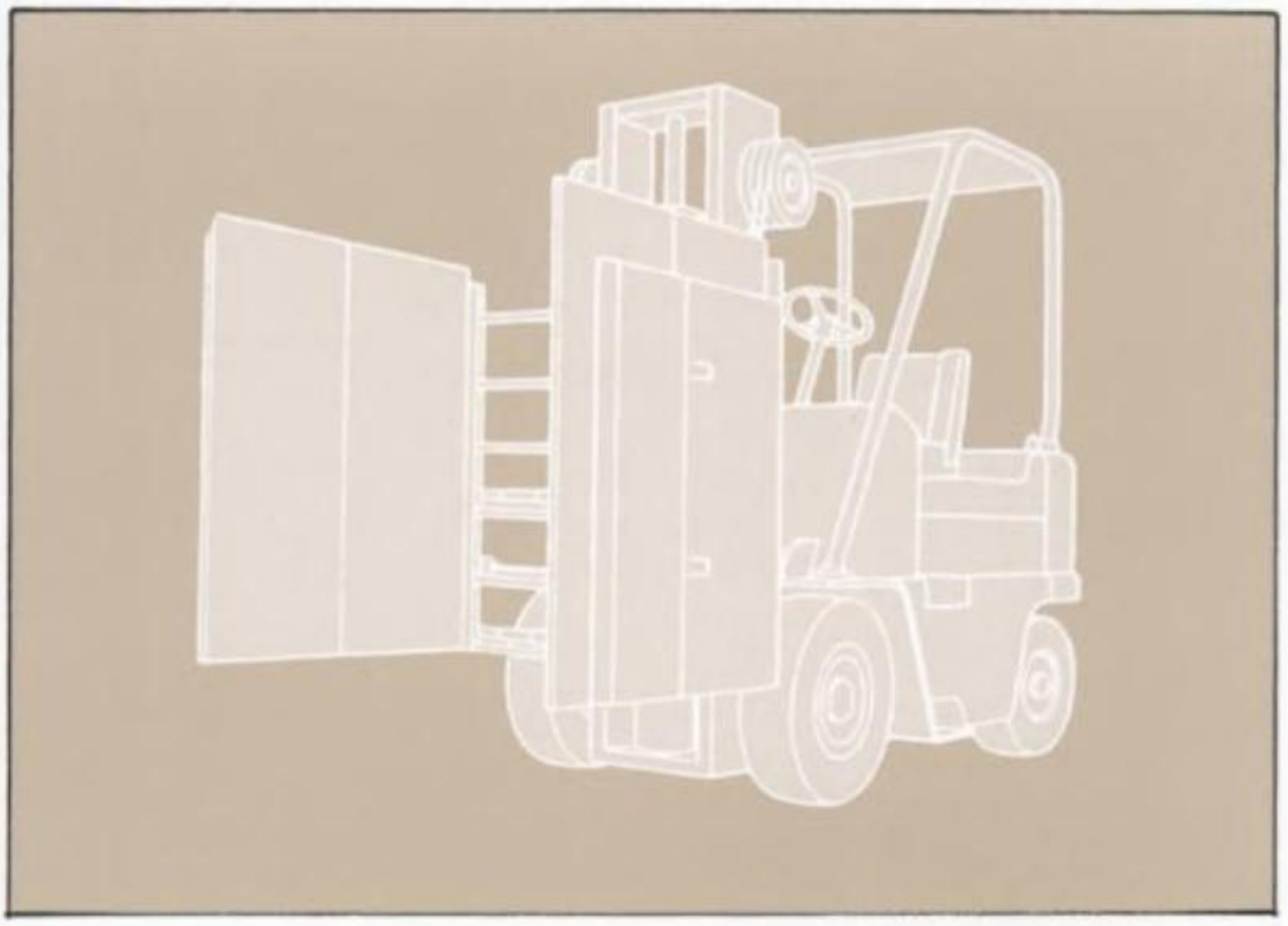
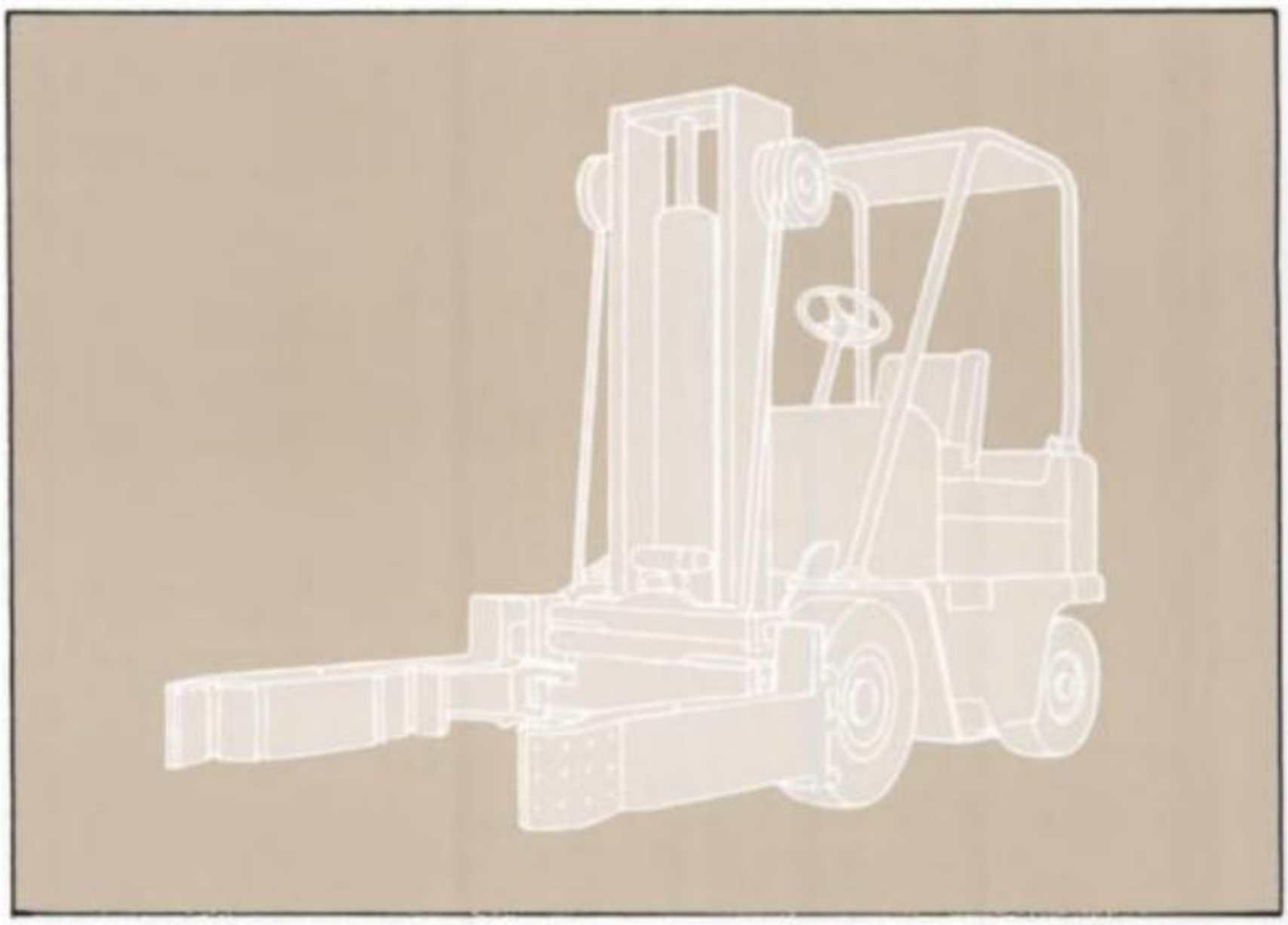


Figura 108. Pinza para electrodomésticos (frigoríficos, cocinas, televisores, etc.).

Copyrighted material

Figura 109. Pinza para bidones de 180/220 litros. Puede tomar simultáneamente 2 o 4 unidades.



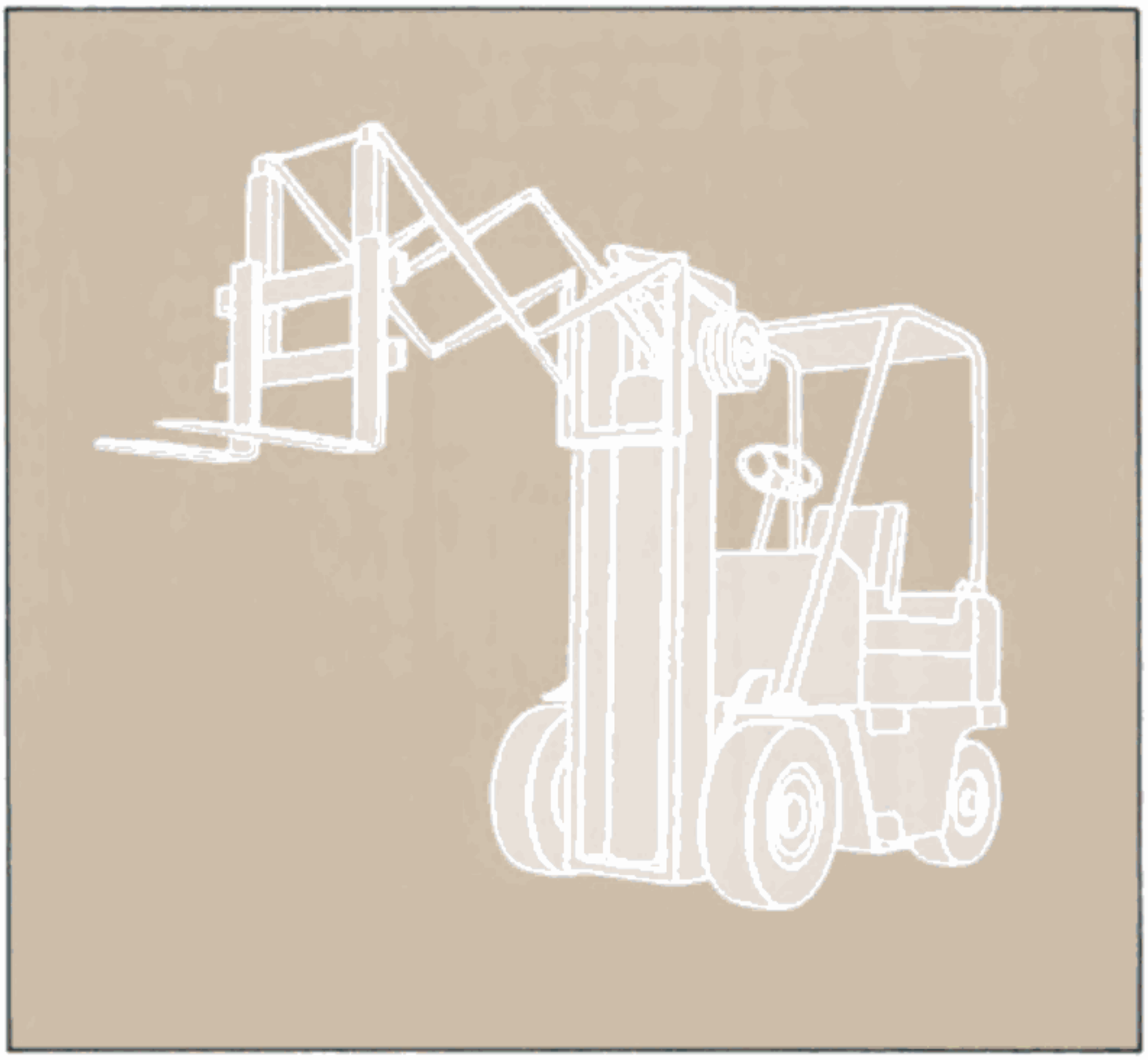
que se acciona, como todos los hidráulicos, desde el puesto del conductor. De lo contrario, sería preciso descender de la carretilla y mover manualmente la posición de las horquillas cada vez que hubiera un cambio de tamaño.

Figura 110. Estabilizador de cargas que permite el movimiento de paletas no flejadas, sin riesgo de descomposición de la unidad.

Copyrighted material

ambos lados de los pasillos. De todos modos, para que sea práctica su utilización, ha de haber suficiente cantidad de cada producto almacenado como para que la paleta del fondo sea del mismo artículo que la de delante. Su mejor aplicación se da en los almacenes de grandes volúmenes con pocos productos distintos.

Figura 112. Extensor de carga, para poder depositar las paletas en doble fila.



VEHÍCULOS AUTOGUIADOS

Entendemos por vehículos autoguiados aquellos que pueden desplazarse por el interior de una planta industrial sin la presencia física de un conductor, montado o acompañante, y con los que pueden realizarse operaciones de movimiento de materiales, de acuerdo con un programa previamente establecido y que puede ser o no modificable durante su desarrollo.

Hace sólo diez años, poca gente en España conocía los vehículos autoguiados pero, a partir de 1980, en que hubo una especie de boom en los EE.UU., la onda también llegó a Europa y empezó a hablarse de ellos y se hicieron las primeras aplicaciones.

Estos sistemas, sin embargo, no son nuevos. En 1954, se desarrolló la primera máquina sin conductor que seguía un camino predeterminado y tomaba decisiones simples de selección de rutas.

Copyrighted material

Los sistemas que se utilizan actualmente pueden clasificarse en tres categorías básicas:

a) Sistemas con control sencillo. Los integran 1 o 2 vehículos, con o sin remolques, que efectúan recorridos de 500 a 1000 m (como máximo, 1.500 m) en los que están previstas 3 o 4 estaciones de parada.

b) Sistemas con microordenador. Están integrados por más vehículos y los recorridos son más largos y complejos, con estaciones de carga/descarga automática. Los vehículos pueden disponer de programación remota. Aumenta el número de los aparatos de control instalados y, por consiguiente, el costo por metro de recorrido.

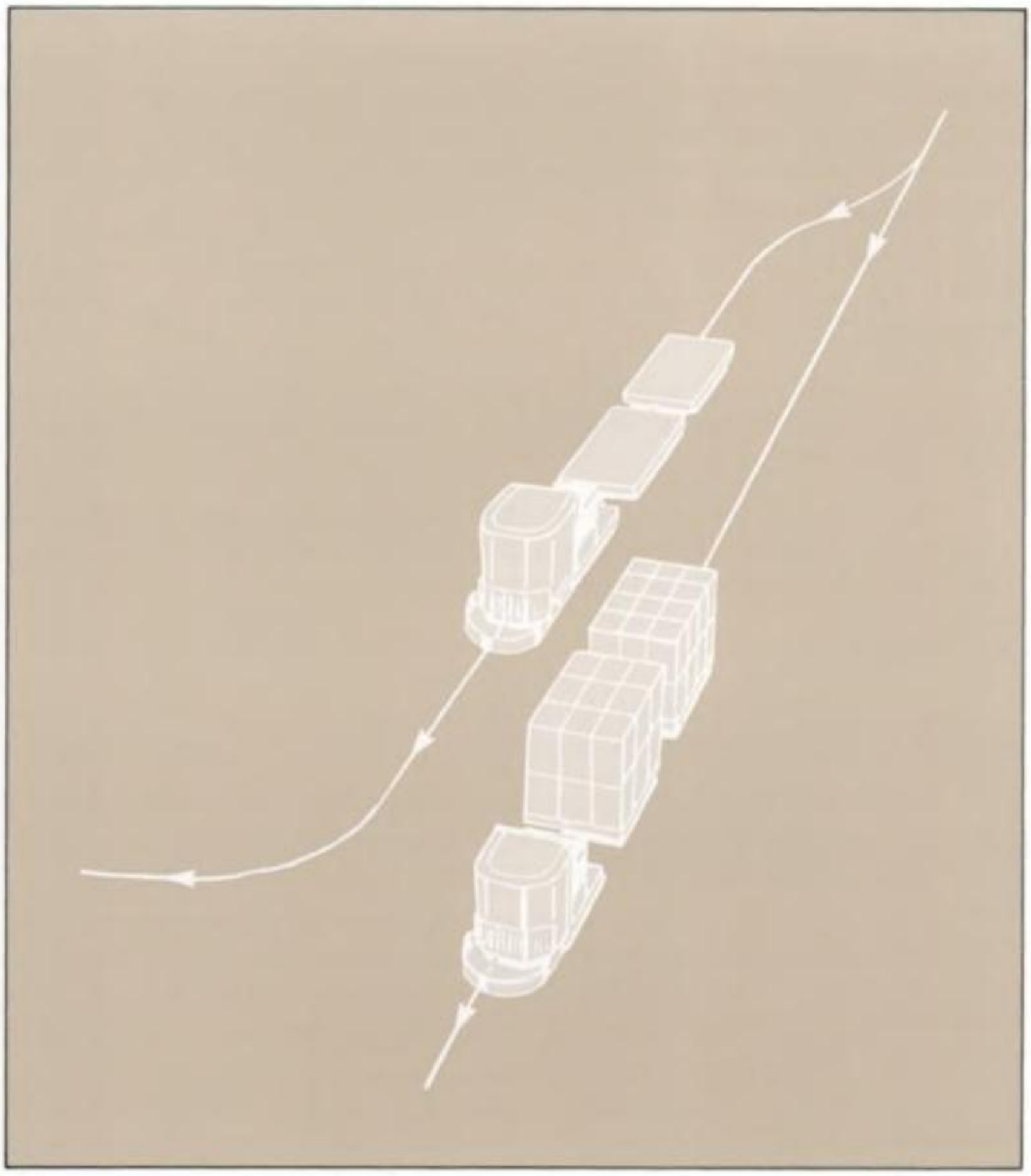


Figura 113. Vehículos autoguiados cuyo desplazamiento está regulado por señales que emanan de elementos ubicados en el pavimento.

c) Sistemas con microordenador interconectados con otros sistemas. Mayor complejidad en general, con controles más sofisticados y más software. El coste de planificación es más elevado, pero no hay aumento sensible del coste de instalación ni del de los vehículos.

Copyrighted material

dispone cada vehículo detecta el pequeño campo magnético emitido por el cable y proporciona las instrucciones de conducción.

Pequeños imanes o placas de metal son colocadas a lo largo del recorrido, en puntos clave, para dar información sobre su situación al vehículo. Cuando éste pasa por encima de esos códigos, un sensor le dice donde está y qué función debe realizar.

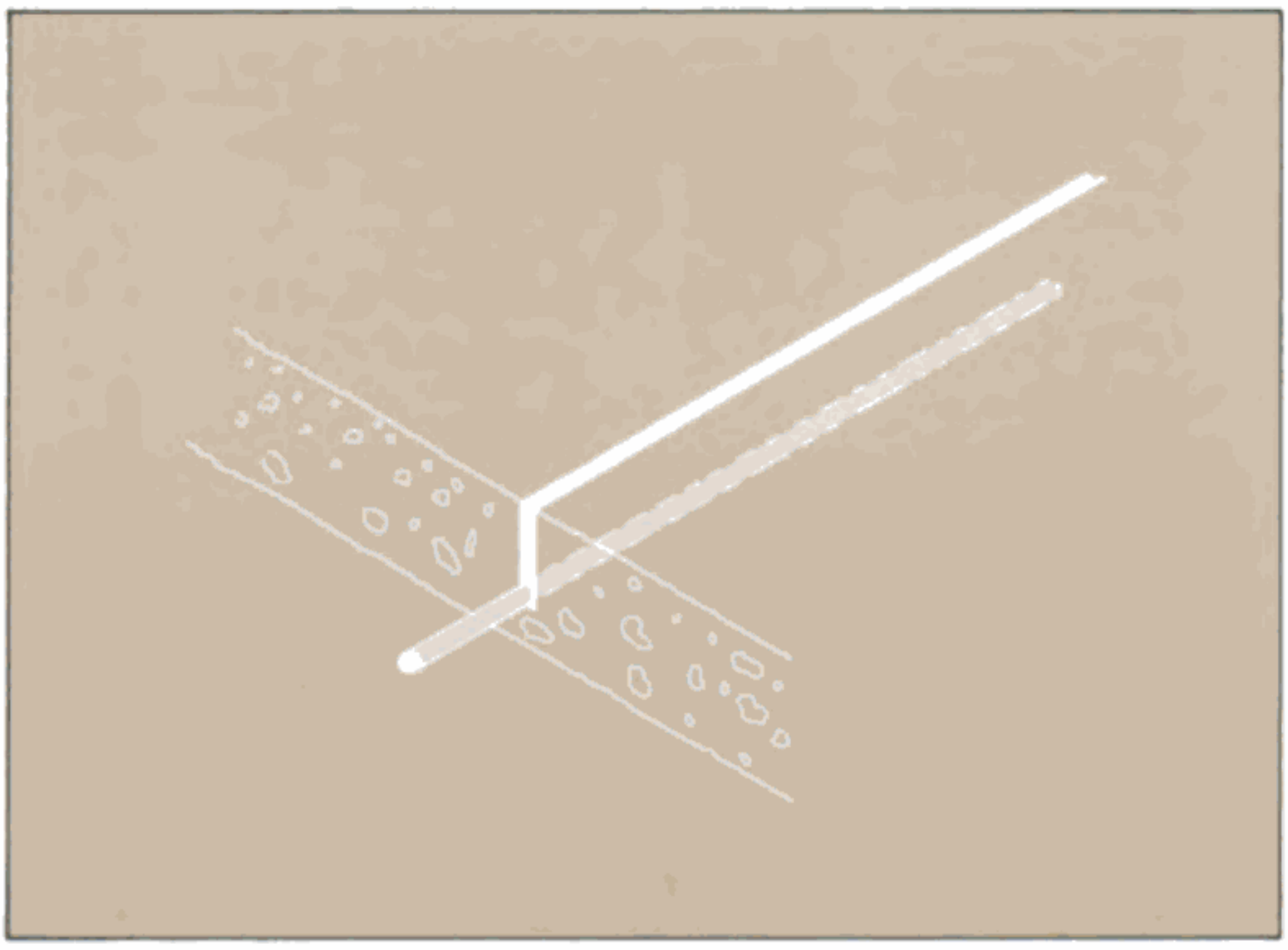


Figura 114. Sistema de guiado de vehículos por cable embutido en el pavimento de la fábrica.

Estos códigos se utilizan para marcar las estaciones de carga/descarga del sistema, los puntos de decisión (en desvíos, por ejemplo) y otros puntos de actuación (tocar la bocina, cambiar de velocidad, etc.).

Las operaciones de trazado, corte de regatas, colocación del cable, o de la banda, y sellado se pueden hacer sin interrumpir el trabajo de la planta.

Vehículos

Seguramente, la aplicación más extendida es la de las carretillas tractoras que pueden arrastrar hasta 4 remolques. Estos trenes son la aplicación más eficiente cuando hay un importante flujo de materiales entre dos puntos.

Sin embargo, está aumentando rápidamente el número de carretillas autoportantes, en que ellas mismas cargan y descargan paletas y cestones de distintos tamaños, en puntos determinados de las cadenas de fabricación. Siguen en orden de importancia las transpaletas eléctricas, para el transporte de paletas entre línea de fabricación y almacen o viceversa, y las carretillas con accesorios de horquillas para la toma de paletas lateralmente, pero cuya gama de alturas, actualmente, está limitada sobre todo por razones de estabilidad del vehículo.

Copyrighted material

Las velocidades varían con las marcas, pero se tiende a fijarlas en 15 m/min en el arranque, en 60 m/min (3,6 km/hora) durante la circulación y en 3 m/min en las operaciones de aproximación y ajuste.

Todos los vehículos son eléctricos y funcionan con baterías de 24, 36 o 48 voltios, aunque la tendencia es ir a voltajes mayores. Estas máquinas pueden superar desniveles máximos del 5 %.

APARATOS DE TRANSPORTE CONTINUO

Incluiremos en este apartado todos aquellos medios de transporte que, en condiciones de funcionamiento, desplazan el material de forma continuada, en dirección horizontal, vertical o inclinada, a medida que lo van recibiendo, siempre y cuando la cantidad llegada no sobrepase la capacidad del dispositivo.

Los principales medios de transporte continuo, empleados en la industria, son los siguientes:

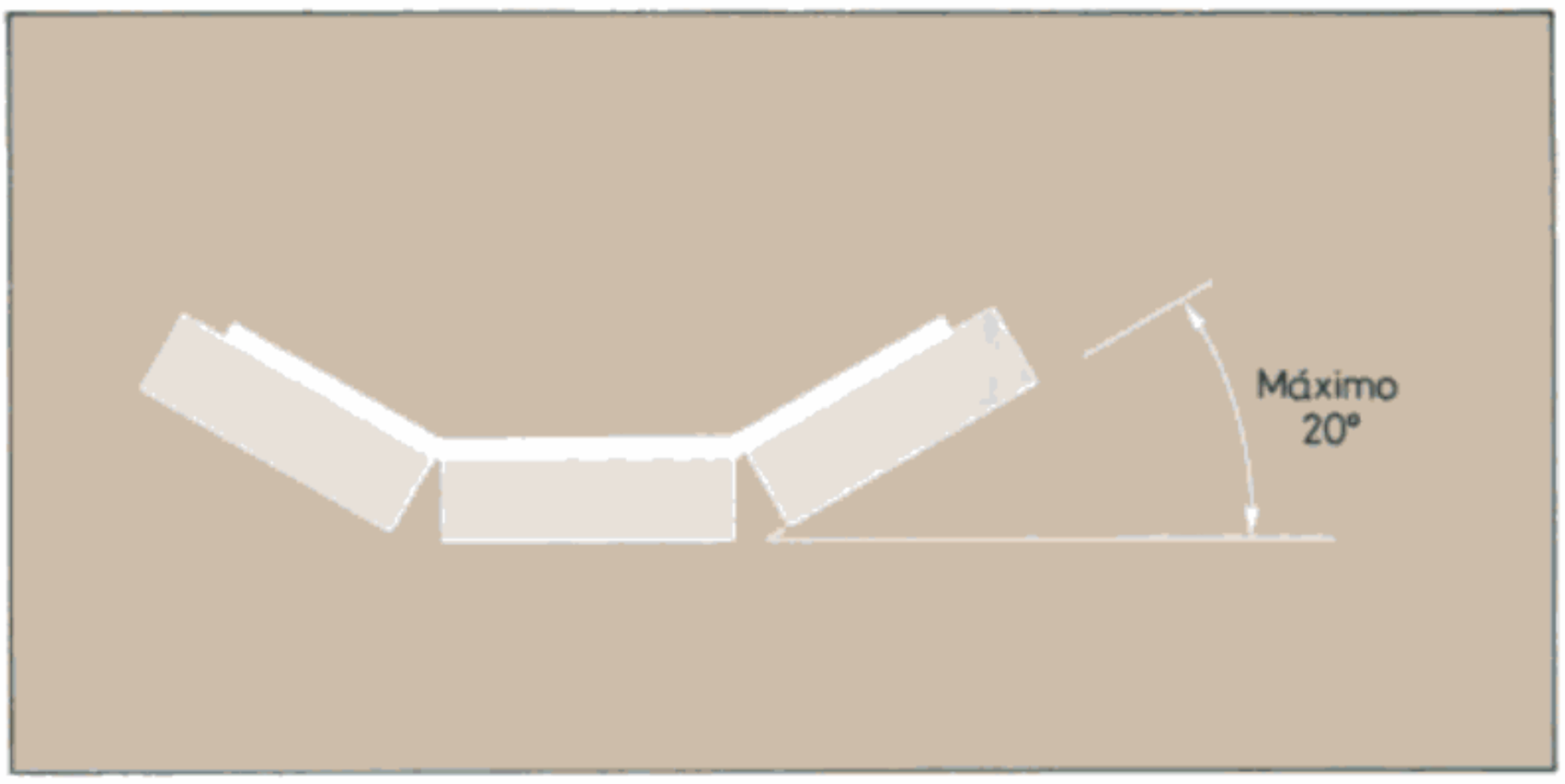


Figura 115. Disposición de los rodillos portantes de una cinta transportadora para aumentar su capacidad.

Cintas transportadoras

Las cintas transportadoras se emplearon por primera vez en la minería pero pronto su utilización se extendió a aplicaciones de todo tipo, gracias a que pueden adaptarse a muy diversas situaciones, entre las que podemos destacar:

— que se adaptan fácilmente a todo tipo de terrenos, incluso los montañosos.

— que pueden aplicarse tanto para transportes largos, como en el caso de la minería, como para transportes cortos, como sucede frecuentemente dentro de una instalación industrial.

— que tienen una gran capacidad de transporte.

— que ofrecen la posibilidad de carga y descarga en cualquier punto de su recorrido.

— que pueden transportar gran variedad de productos, a granel o envasados, pesados o ligeros, fríos o calientes, etc.

Copyrighted material

– que debido a su robustez son bajos los gastos de mantenimiento.
– que es bajo su nivel de contaminación, tanto química como acústica.

Una cinta transportadora es, en esencia, una banda sin fin, de determinado material, ancha, arrastrada sobre una estructura plana, o sobre rodillos, por la tracción que ejerce un cilindro motor. Los materiales son movidos de un punto a otro con sólo colocarlos encima de la citada banda móvil. Y esa banda, que es el medio de transporte, es lo que caracteriza a la cinta transportadora.

Si bien, originalmente, las cintas eran de cuero o de tela de algodón, en la actualidad son de los más diversos materiales, en función del tipo de producto a transportar, siendo los más aplicados la combinación de goma y tela, en varias capas, las formadas por tablillas de madera y las de malla metálica. La cinta puede ser plana o tener un determinado perfil, por ejemplo, con los bordes levantados un cierto ángulo (generalmente no más de 20°, aunque en determinadas condiciones puede ser superior), a fin de conseguir una mayor capacidad cuando se transportan materiales a granel (figura 115).

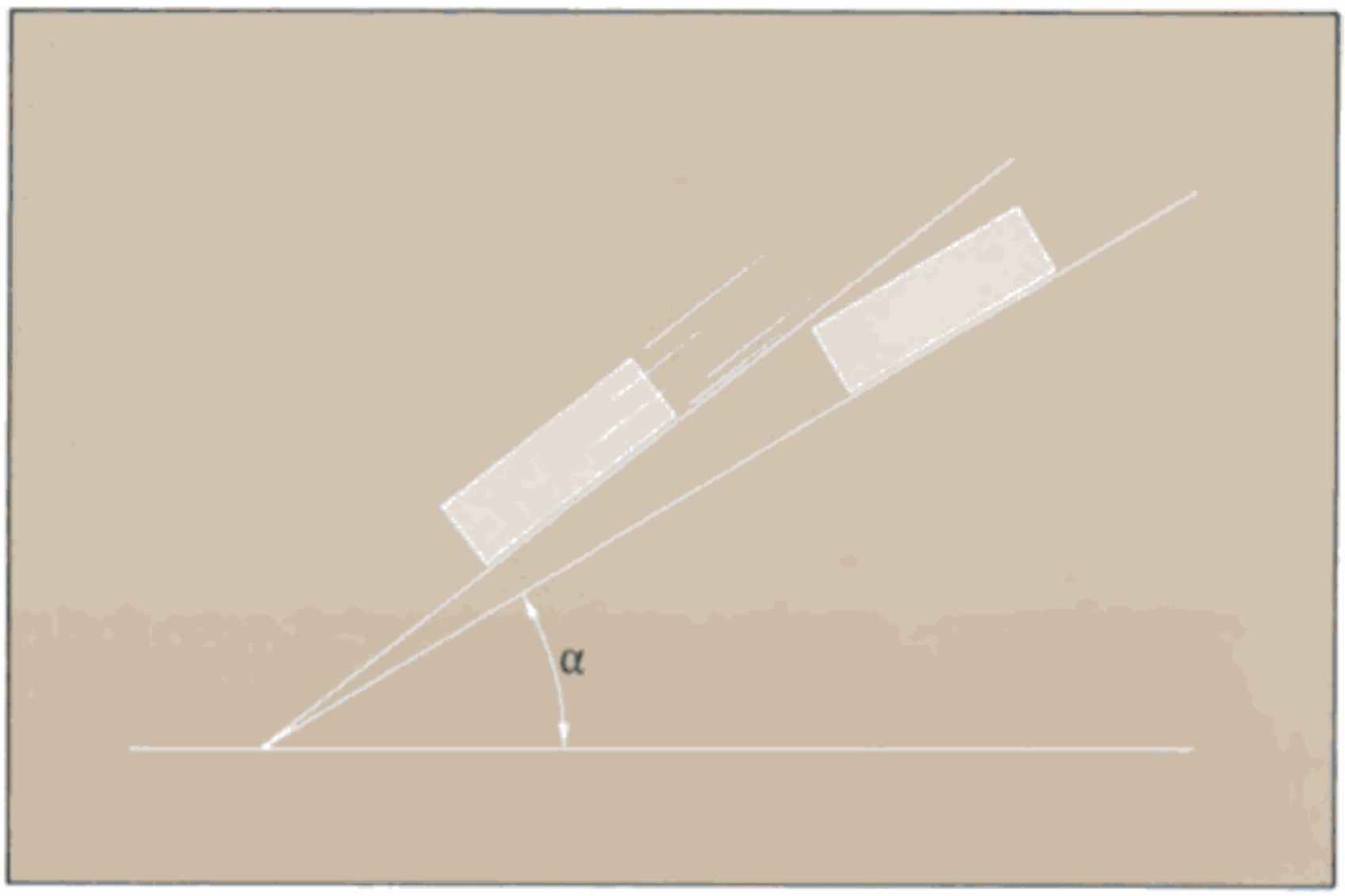


Figura 116. Deslizamiento de los productos en una cinta transportadora. Hay un valor α que no debe sobrepasarse.

Las cintas se estiran o se encogen debido a los cambios de temperatura y de humedad, y asimismo en función del tiempo que han estado trabajando. Por esto, toda cinta transportadora ha de contar entre sus componentes un dispositivo tensor que compense las pequeñas variaciones que pueda experimentar su longitud, manteniendo una tensión constante de la banda.

Otro aspecto que hay que considerar en este tipo de instalaciones es el ángulo máximo de inclinación que pueden admitir que dependerá del deslizamiento que sobre la capa superior de la cinta pueda experimentar el producto transportado y de la tendencia al vuelco, función de la forma de los bultos.

Copyrighted material

tablillas suficientemente altas mejoraremos el ángulo máximo de inclinación.

Las cintas transportadoras pueden ser también portátiles, que se usan generalmente para la carga y descarga de vagones, camiones, contenedores y otros medios de transporte. Estas cintas pueden combinarse entre sí y con las fijas para formar redes de transporte flexibles y adaptables a las necesidades de cada momento.

En las bandas transportadoras de tablillas, que pueden ser de madera o metálicas, éstas van fijadas, generalmente, a dos cadenas laterales que son las que actuán de elemento tractor. Se utilizan cuando es necesario el paso de gases o líquidos entre los elementos transportados, como en el caso de los procesos de secado, y cuando las cintas de goma y tela no soportarían las temperaturas de trabajo. Tienen también la ventaja de que se pueden emplear cilindros de tracción de pequeño diámetro y de que pueden seguir caminos curvos, aunque con radios de curvatura relativamente grandes.

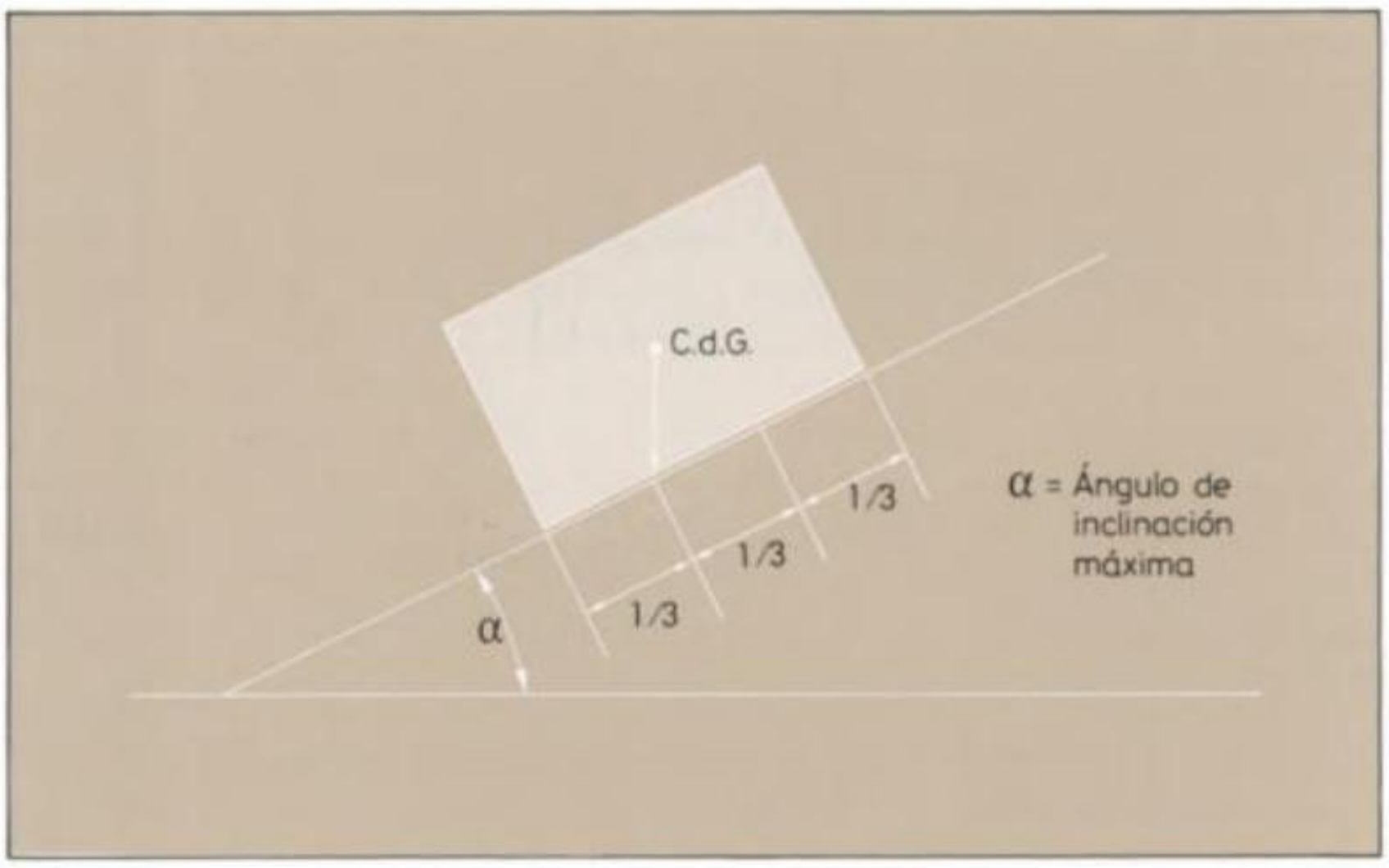


Figura 118. Determinación de la inclinación de una cinta transportadora para evitar el vuelco de los paquetes.

Las bandas de malla metálica están formadas por espirales de alambre, planas, dispuestas en sentido transversal. Se construyen en aceros y otros metales y aleaciones de los más diversos tipos y de acuerdo con el ambiente en el que van a trabajar. Se utilizan en aquellos casos en que el proceso productivo transcurre en atmósferas corrosivas y/o a elevadas temperaturas. Son de aplicación en hornos de tratamiento térmico, de cocción de productos alimenticios, de cocción de ladrillos, de cerámica, de sanitarios, túneles de pasteurización, de secado y un largo etcétera.

Cualquiera de los modelos que hemos citado puede estar emplazado al aire libre o en túneles o galerías cerradas. Tanto en uno como en otro caso, deben preverse siempre, por lo menos en uno de los lados, vías de servicio que permitan la circulación para atender las necesidades de mantenimiento.

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

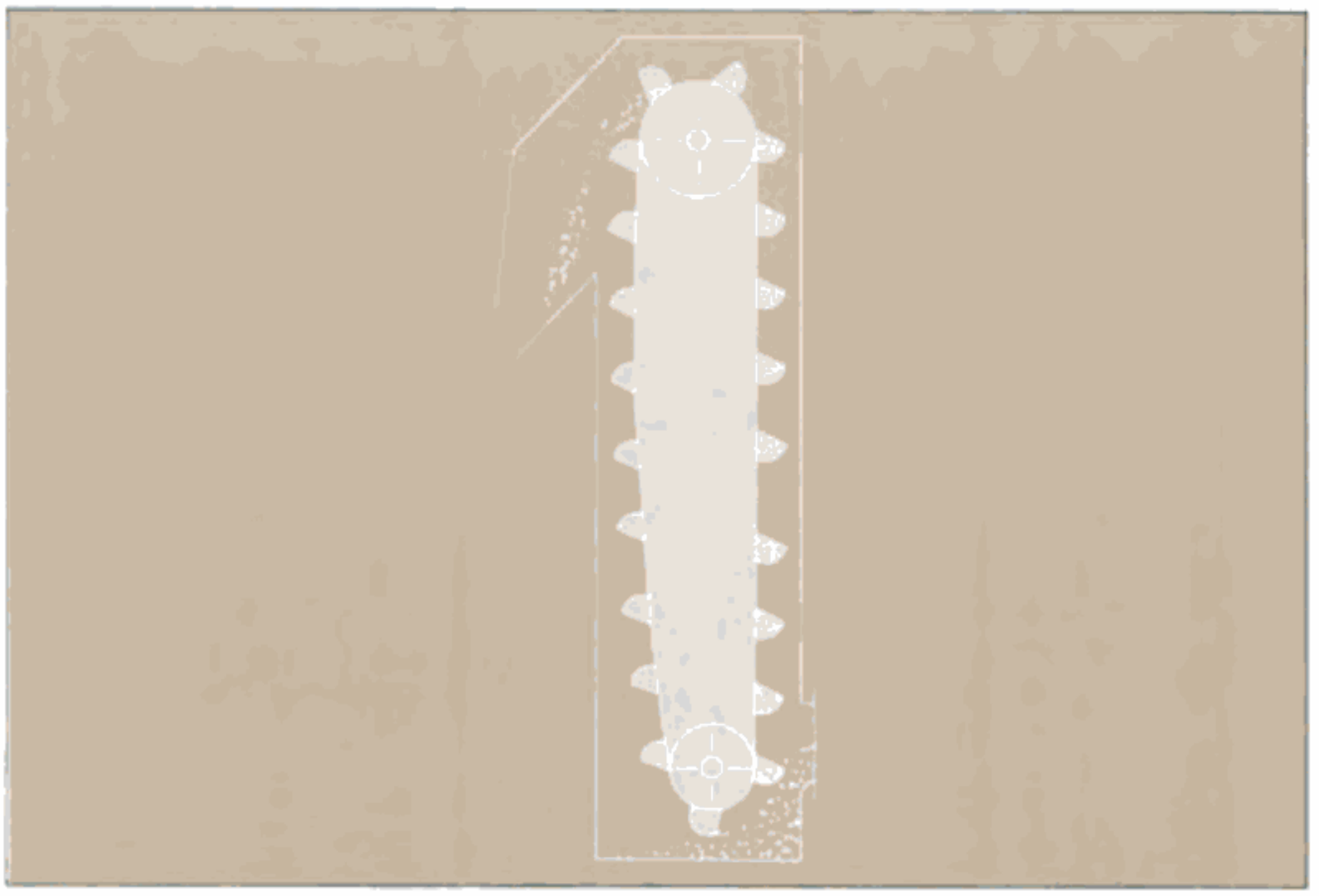


Figura 119. Elevador de cangilones para materiales a granel.

Elevadores de cangilones

Una variante de las cintas transportadoras lo constituyen los elevadores de cangilones (figura 119), en los que éstos pueden estar fijados a cintas de goma y tela, como las tablillas de madera, o bien a cadenas, que es en la actualidad el sistema más empleado. Aunque pueden moverse a lo largo de planos inclinados, su principal aplicación es la elevación vertical, muchas veces combinada con cintas horizontales. Generalmente, se disponen en canalizaciones cerradas y se utilizan para el transporte de materiales a granel de pequeña granulometría (se estima como tamaño máximo los 2 cm de diámetro, aceptándose pequeños porcentajes de hasta 5 cm), áridos, granos y similares.

Con estos transportadores se pueden alcanzar alturas de 100 metros y capacidades de transporte de 500 toneladas/hora.

Un modelo clásico es la conocida noria para la elevación de agua.

Transportadores por gravedad

Constituyen el sistema de transporte más sencillo y más económico. Se caracterizan por:

– la utilización de la gravedad como elemento motor.
– la existencia de un movimiento relativo entre el producto transportado y el transportador.

Los podemos clasificar en transportadores por deslizamiento y en transportadores por rodadura. Entre los primeros están los planos inclinados, cuyas versiones más conocidas son las rampas de descarga y los canales de caída.

Entre los segundos citaremos:

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

Transportadores de rodillos

En estos transportadores, el camino de rodadura de los productos a transportar lo constituyen una serie de rodillos dispuestos a lo largo de una estructura que une el punto de carga con el de descarga (figura 120). El recorrido puede ser totalmente recto o incluyendo curvas, con la única condición de que tenga pendiente suficiente para que los bultos puedan deslizarse. Para que puedan ser transportados por este medio, los paquetes han de tener una base de suficiente longitud como para que puedan apoyarse, siempre, por lo menos, en dos rodillos. De este transportador existen variantes motorizadas, de aplicación para desplazamientos en horizontal.

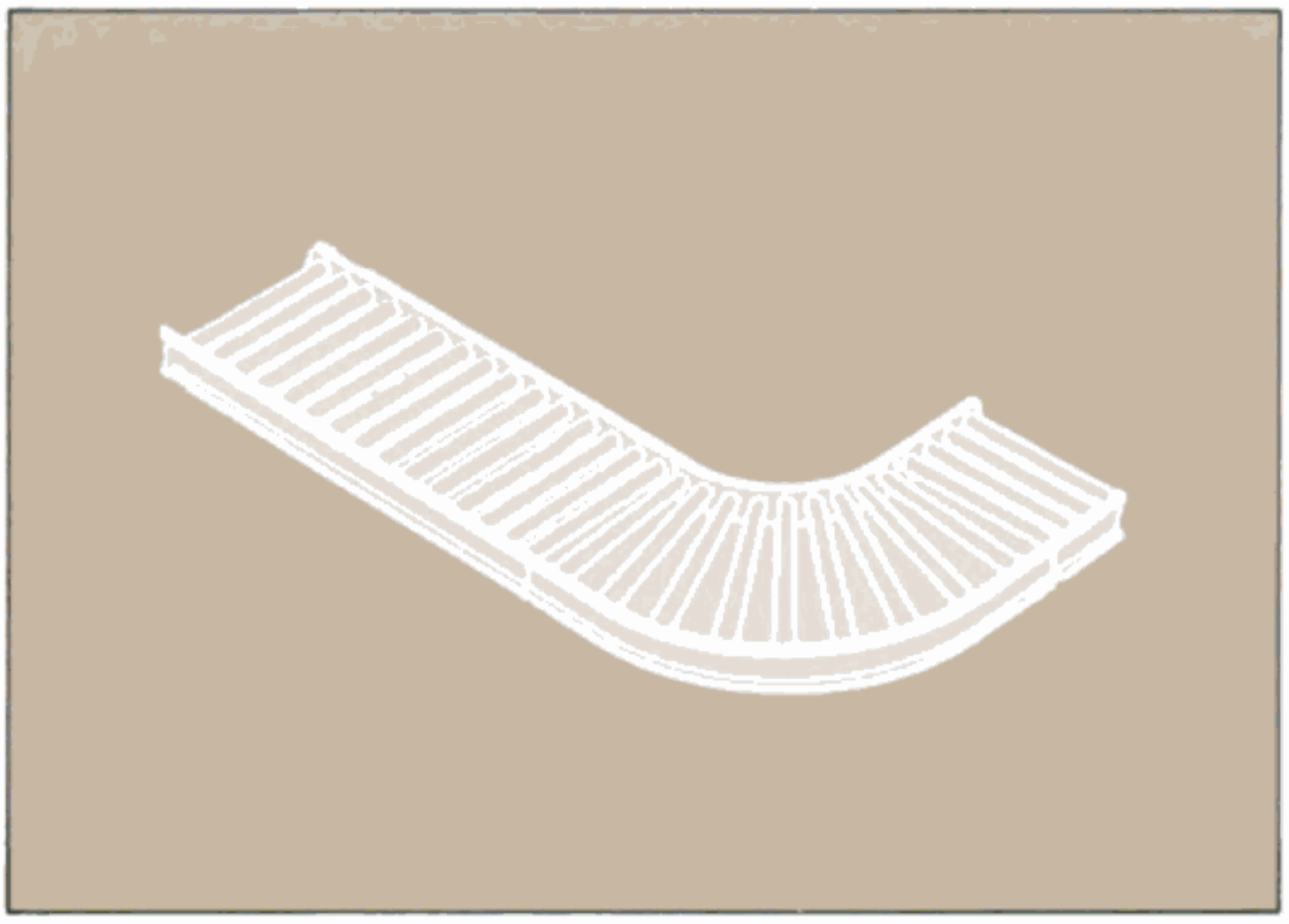


Figura 120. Transportadores de rodillos, que pueden ser rectos o incluir tramos curvos, con la única condición de que tengan pendiente suficiente para que los bultos puedan deslizarse.

Transportadores de discos

Una variante del transportador anterior los constituyen los transportadores de discos en los que cada rodillo ha sido reemplazado por un eje provisto de varios discos, relativamente separados entre sí, y, generalmente, de materiales muy ligeros. Aquí los materiales a transportar han de tener una superficie de apoyo más rígida y, además, han de cumplir la condición de apoyarse, siempre y por lo menos, en dos filas de discos y en dos discos de la misma fila. Tienen la ventaja de ser de estructura muy ligera, por lo que pueden ser fácilmente movidos de un sitio a otro. Algunas cadenas de distribución de productos alimenticios los llevan en sus vehículos para facilitar la descarga de los camiones.

Transportadores de bolas

Estos transportadores están constituidos por una placa en la que se insertan esferas metálicas, dispuestas en filas y columnas y de las que sobresale el casquete superior que sirve de apoyo a las cargas a desplazar.

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

Como el movimiento puede realizarse en cualquier sentido, su aplicación más difundida es la de enlace entre transportadores de rodillos, de discos y de cinta, en las bifurcaciones o en los cambios de dirección a 90°. Aquí, para que el transporte se haga sin dificultades, los bultos deben apoyar, en todo momento, por lo menos en cuatro esferas adyacentes.

Transportadores de cadena

Debemos distinguir dos grandes tipos: aquellos en los que el producto transportado es movido en contacto con la propia cadena que lo soporta, y aquellos en los que la cadena actúa sólo como elemento de arrastre de los dispositivos en los que se deposita la carga.

Transportadores en masa

Entre los primeros tenemos los transportadores en masa, llamados también transportadores tipo Redler, y que constan en esencia de una cadena sinfín cuyos eslabones llevan incorporadas unas aletas, que pueden tener diversa forma (figura 121) y que son las que arrastran el material. El ramal tractor de la cadena se desplaza por el fondo de la canalización, generalmente rectangular, en la que está el material a granel al cual arrastra, por fricción, apoyado en las aletas. El retorno se efectúa por el exterior de la canalización. El material se desplaza con la cadena, a su misma velocidad y de forma continua.

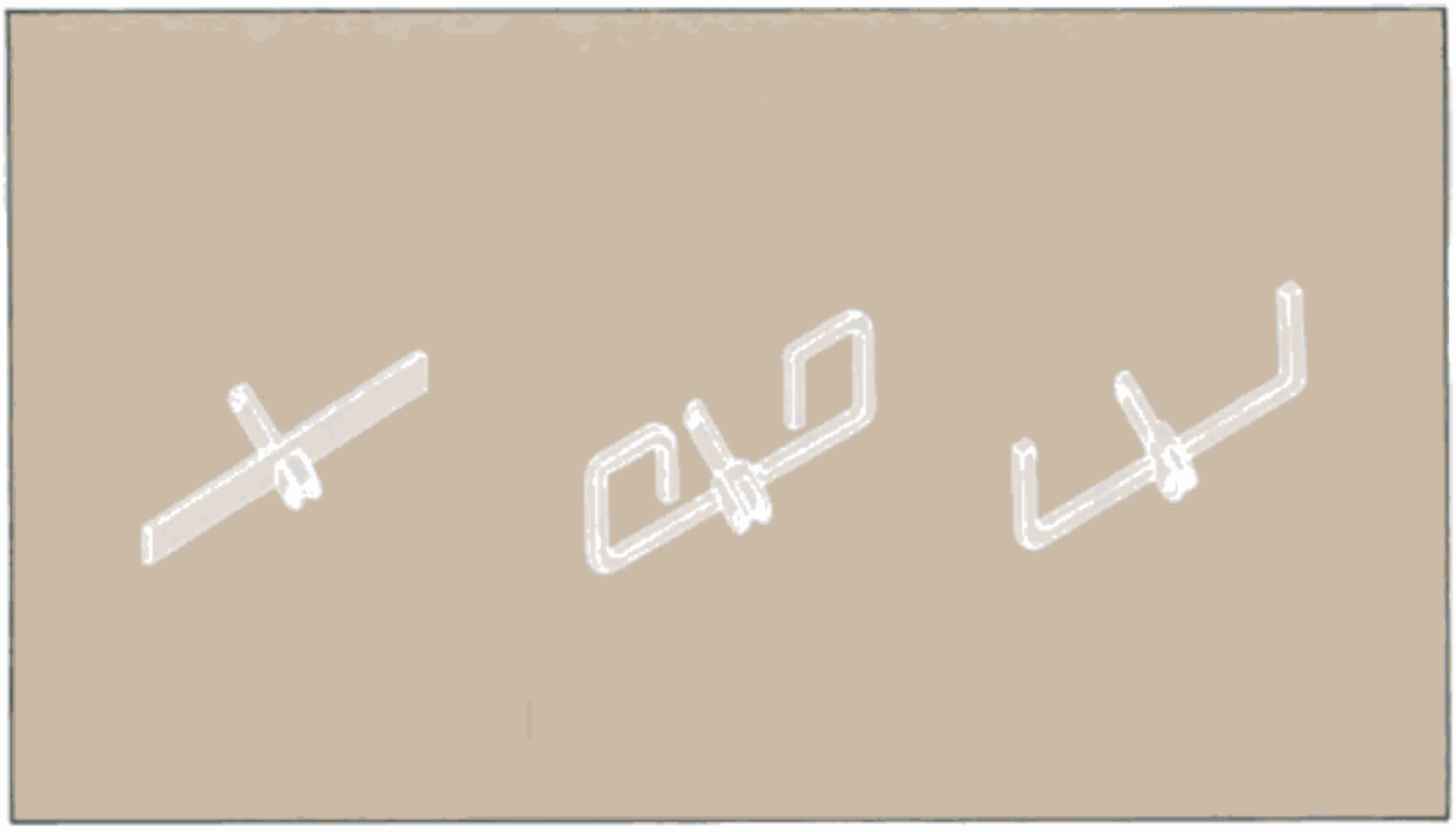


Figura 121. Distintos tipos de eslabones de los transportadores a cadena. No es necesario que las aletas ocupen toda la sección interior del transportador.

Contrariamente a lo que pudiera parecer, al paso de la cadena el material no se queda estacionario moviéndose sólo lo suficiente para que aquella pueda circular, sino que avanza con ella, aunque las aletas de los eslabones portantes no ocupen toda la sección del transportador.

Estos transportadores presentan las siguientes ventajas:

— Es posible efectuar, en una misma instalación, recorridos horizontales, inclinados o verticales.

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

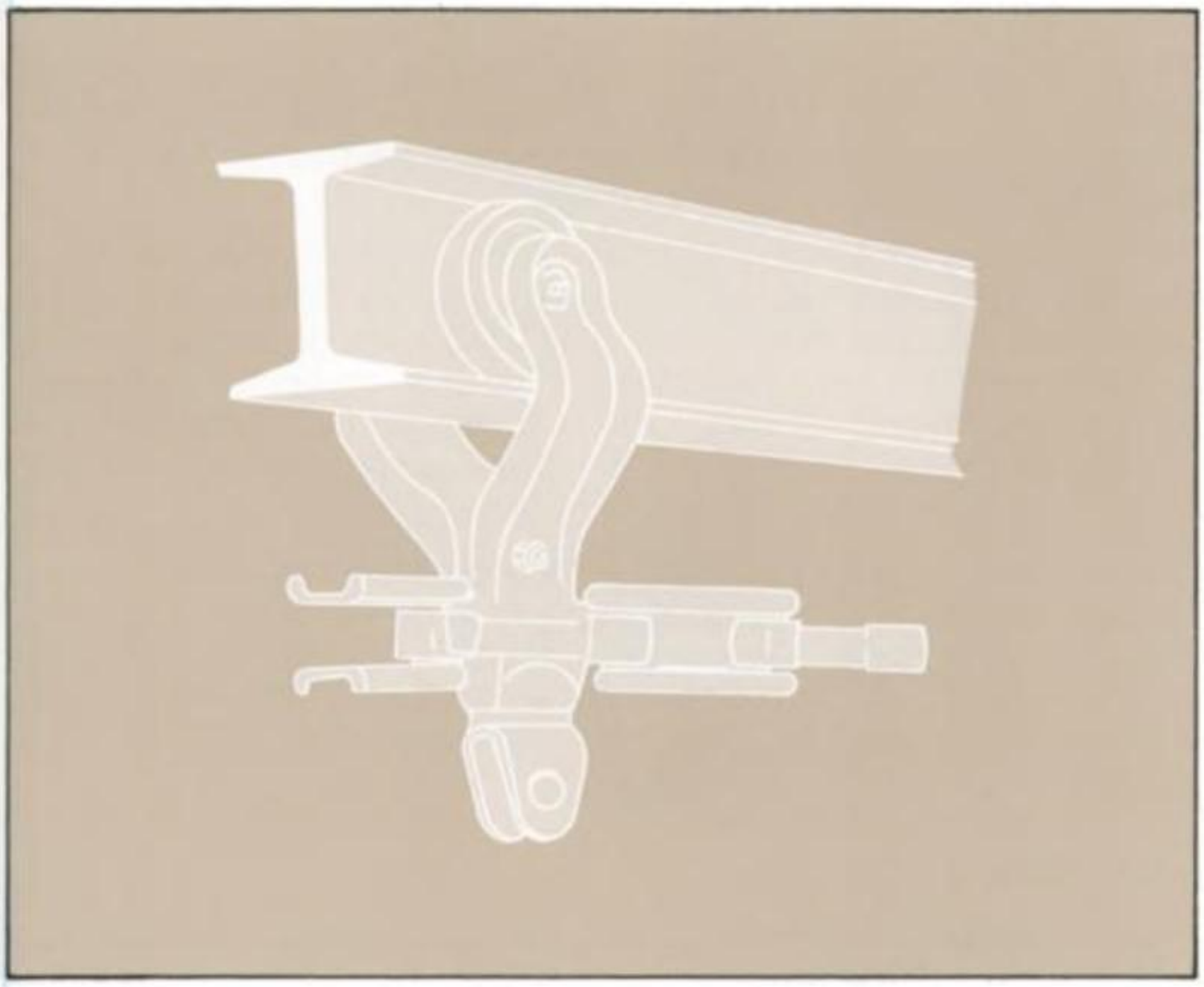


Figura 122. Esquema del eslabón de las cadenas de un transportador suspendido en el que van sujetos los ganchos o las bandejas que soportan las cargas.

— La carga y descarga del material puede hacerse en cualquier punto del transportador.
— Su sección transversal es pequeña y, en consecuencia, ocupan poco espacio.
— No producen polvo ni pueden ser contaminados por otros productos, pues las cajas pueden construirse herméticas.
— Sus exigencias de mantenimiento son mínimas.

Son transportadores especialmente adecuados para el transporte de granos y materiales similares.

Transportadores **suspendidos**

Son transportadores de cadena del segundo de los tipos que hemos comentado en los párrafos anteriores y que circulan suspendidos de una viga I que es la que fija el recorrido de las cargas. Las alas inferiores de la viga son las pistas de rodadura de las horquillas de suspensión (figura 122) que intercala la cadena a intervalos regulares. De éstas penden los ganchos, cestas o bandejas en los que se deposita la carga. La cadena, accionada por uno o más mecanismos intercalados en su recorrido, es movida a velocidad constante.

Las principales características de este transportador son:

— Las vigas I pueden ser colocadas en posición horizontal, vertical o intermedia, lo que permite que el transporte se realice junto al techo, si es preciso, no interfiriendo con las operaciones que se realizan a nivel del suelo.

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

— De la misma manera, el transportador puede bajar a nivel de un puesto de trabajo, en cualquier punto de la planta, para que allí sea cargado o descargado. Es decir, puede realizarse una operación en una pieza, colocarla en el transportador y ser retirada de él en otro lugar, al que descienda, para realizar la operación siguiente.

— Como puede elevarse y descender tantas veces como sea necesario para abastecer distintos puestos de trabajo, puede utilizarse como almacén de obra en curso, que no necesitará la intervención del personal de aprovisionamiento. Si el transportador se hace con un recorrido más largo que el estrictamente necesario para el suministro de los materiales se puede obtener una gran capacidad de almacenamiento para los materiales que se utilicen en los distintos puestos de trabajo.

No obstante, frente a estas ventajas debemos tener en cuenta que las vigas van soldadas a la estructura de la planta, lo que las convierte en parte integral de ella y es muy caro moverlas de sitio. Además, cada dispositivo motor puede accionar un transportador de unos 300 a 400 metros, según el número de curvas; recorridos más largos requerirán varios de estos aparatos, lo que complica la instalación.

POLIPASTOS Y PUENTES GRÚA

Los polipastos y los puentes grúa son fundamentalmente aparatos elevadores de cargas pesadas que pueden actuar dentro de un área limitada y, en general, reducida. Son aparatos mucho menos flexibles que las carretillas elevadoras, ya que sólo pueden operar en un área determinada, mientras aquéllas pueden hacerlo en cualquier lugar de la fábrica y aun fuera de ella, pero mucho más flexibles que los transportadores que sólo pueden mover los materiales entre los puntos de carga y descarga o, a lo sumo, a lo largo de su línea de recorrido.

Una ventaja de los polipastos y de los puentes grúa es que, en el área que pueden servir, pueden utilizarse por encima del suelo, sin interferir ni con las operaciones de producción, ni con otros medios de transporte, lo que permite, en esa zona, suprimir los pasillos de circulación que, por ejemplo, necesitan las carretillas, con el consiguiente ahorro de espacio.

En su contra tienen que, salvo los modelos más pequeños, son un medio de transporte caro. En primer lugar, porque su utilización es intermitente, a veces con una frecuencia de uso muy baja. En segundo lugar, porque son más lentos que las carretillas y los transportadores. Y en tercer lugar, porque requieren un conductor especializado (nos referimos, por ejemplo, a los grandes puentes grúa) que suele estar infrautilizado.

Sin embargo, son imprescindibles cuando deben realizarse, por exigencias de la producción, elevaciones para desplazar maquinaria o cuando deben lavantar piezas pesadas que es preciso mantener elevadas y en posición para su montaje.

Los polipastos son, en esencia, dispositivos mecánicos que a base de la adecuada combinación de poleas consiguen disminuir el esfuerzo necesario a realizar para la elevación de una carga (figura 123).

Los polipastos más sencillos y de menos potencia son los manuales en

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

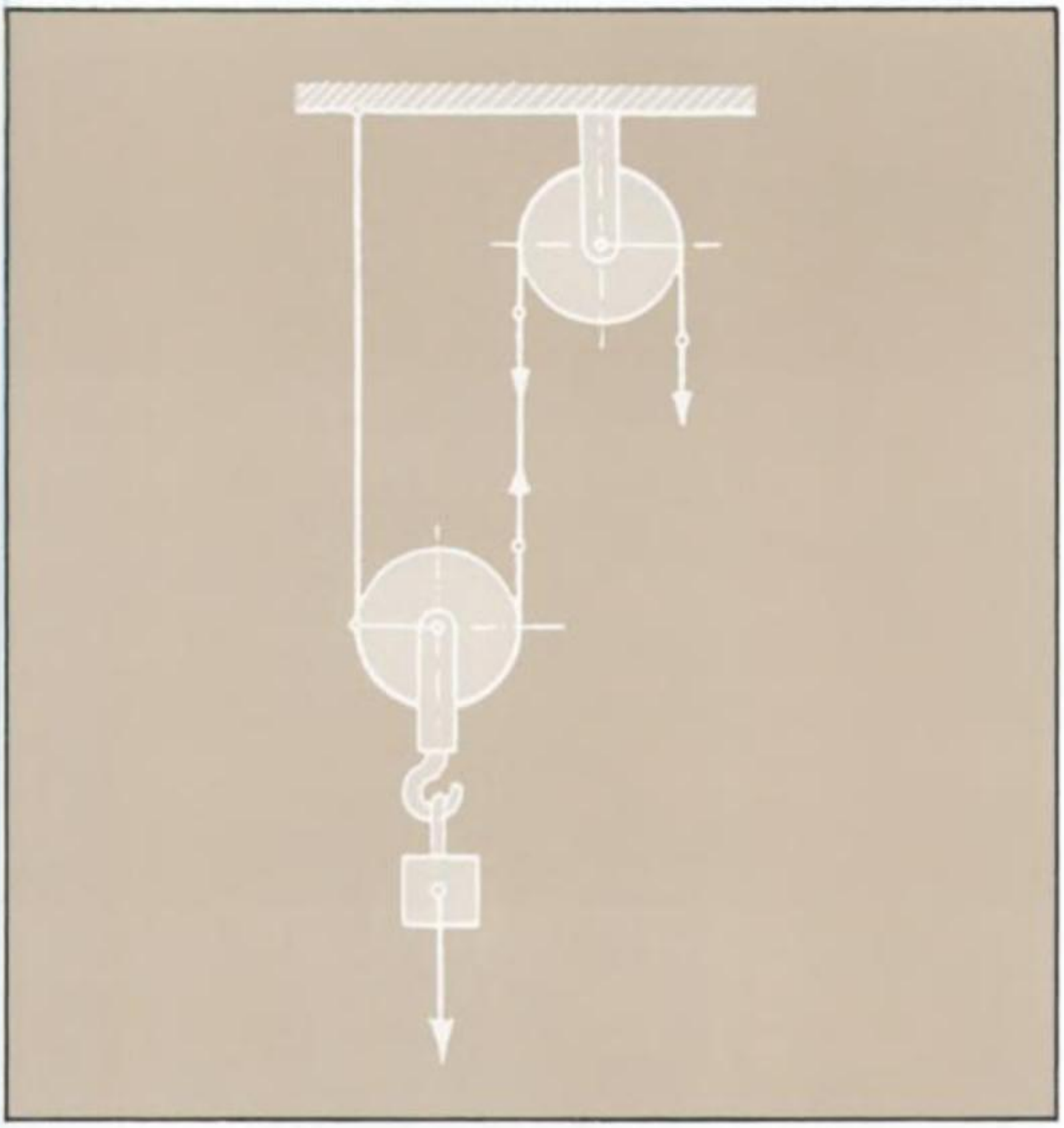


Figura 123. Esquema de un polipasto simple.

los que tanto el desplazamiento a lo largo del carril que los soporta como la elevación de la carga se hace a mano. Son aún muy utilizados en los talleres de reparaciones y en los talleres mecánicos para la carga de piezas grandes en las máquinas herramientas. Pero hay modelos de idénticas características en que la elevación o la elevación y el desplazamiento se realizan eléctricamente (figura 124).

Tanto unos como otros, pueden ser:

– de columna, en los que el carril de desplazamiento tiene uno de los extremos abisagrado a una columna y el otro está en voladizo; su desplazamiento angular alrededor de la columna alcanza algo menos de los 180°, quedando así limitado su campo de actuación.

– monocarriles, en los que el citado carril está apoyado entre dos columnas; su ámbito de utilización queda limitado a los puntos situados debajo de él.

– puentes grúa, en los que el carril de desplazamiento está apoyado sobre ruedas que discurren sobre rieles situados a ambos lados del área de actuación. Este carril está sostenido bajo una viga que en los modelos de gran capacidad constituyen verdaderos puentes sobre los que se desplaza un carro en el que está el polipasto propiamente dicho y que llevan la

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

— La altura total de la unidad de carga que se utilice para el cálculo debe incluir la paleta.

— El peso de la unidad de carga debe ser el real e incluir también la paleta. Una vez instaladas las estanterías y para que no se sobrecarguen es buena práctica acoplar a la carretilla elevadora un dispositivo pesador, sobre todo si se reciben materiales muy diferentes y de distinta procedencia. Y si las unidades de carga son de peso muy diverso (si se reciben, por ejemplo, detergentes y papel higiénico) y la capacidad de las estanterías, por razones de economía, no es la misma en todo el almacén (práctica no siempre recomendable, pues le resta flexibilidad), deberá indicarse claramente a la entrada de los pasillos y preferentemente, si es posible, pintarlas de distinto color.

Una vez determinados la profundidad (única) y el ancho (único) del entrepaño, y la altura (máxima) y el peso (máximo) de la unidad de carga podremos elegir el tipo de estantería que vamos a instalar.

Tipos de estanterías

Estantería simple

El tipo de estantería más utilizado para el almacenamiento de paletas es el de la figura 127, en el que se puede acceder a los estantes a través de

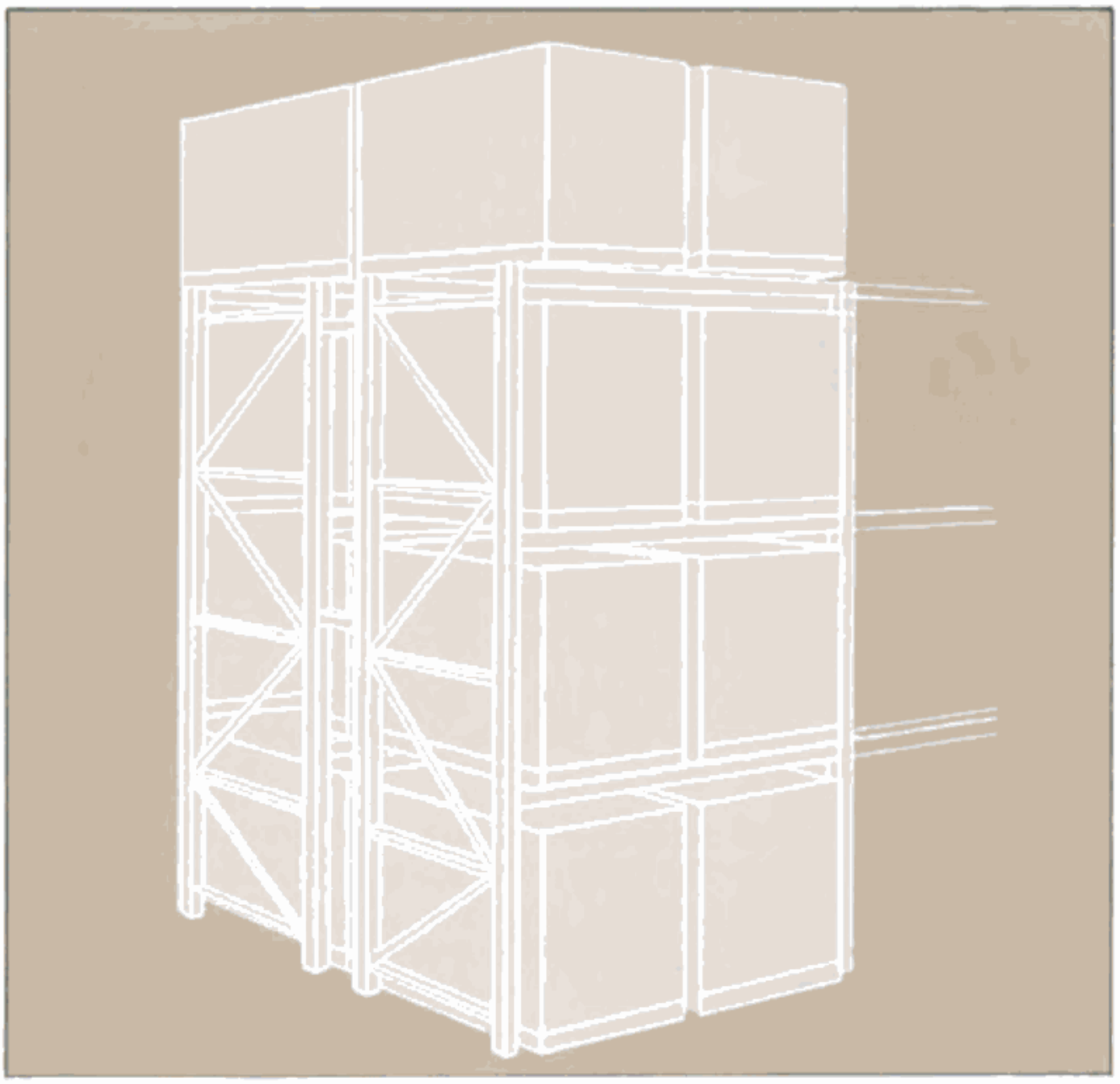


Figura 127. Estantería para paletas. Como éstas han de volar unos 10 cm, tanto en el frente como en el fondo, cada par de estanterías deben estar separadas por distanciadores que prevean, además, una holgura entre unidades de carga de 5 a 10 cm.

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

los pasillos de estibado. Si el almacén es muy grande, suele haber pasillos de circulación, perpendiculares a éstos y más anchos, en los que el desplazamiento de las carretillas puede ser más rápido. Con esta disposición se tiene acceso directo a cualquier carga, lo que es ineludible cuando el material almacenado es de muy diferentes clases; pero es la que proporcionalmente consume más espacio en pasillos.

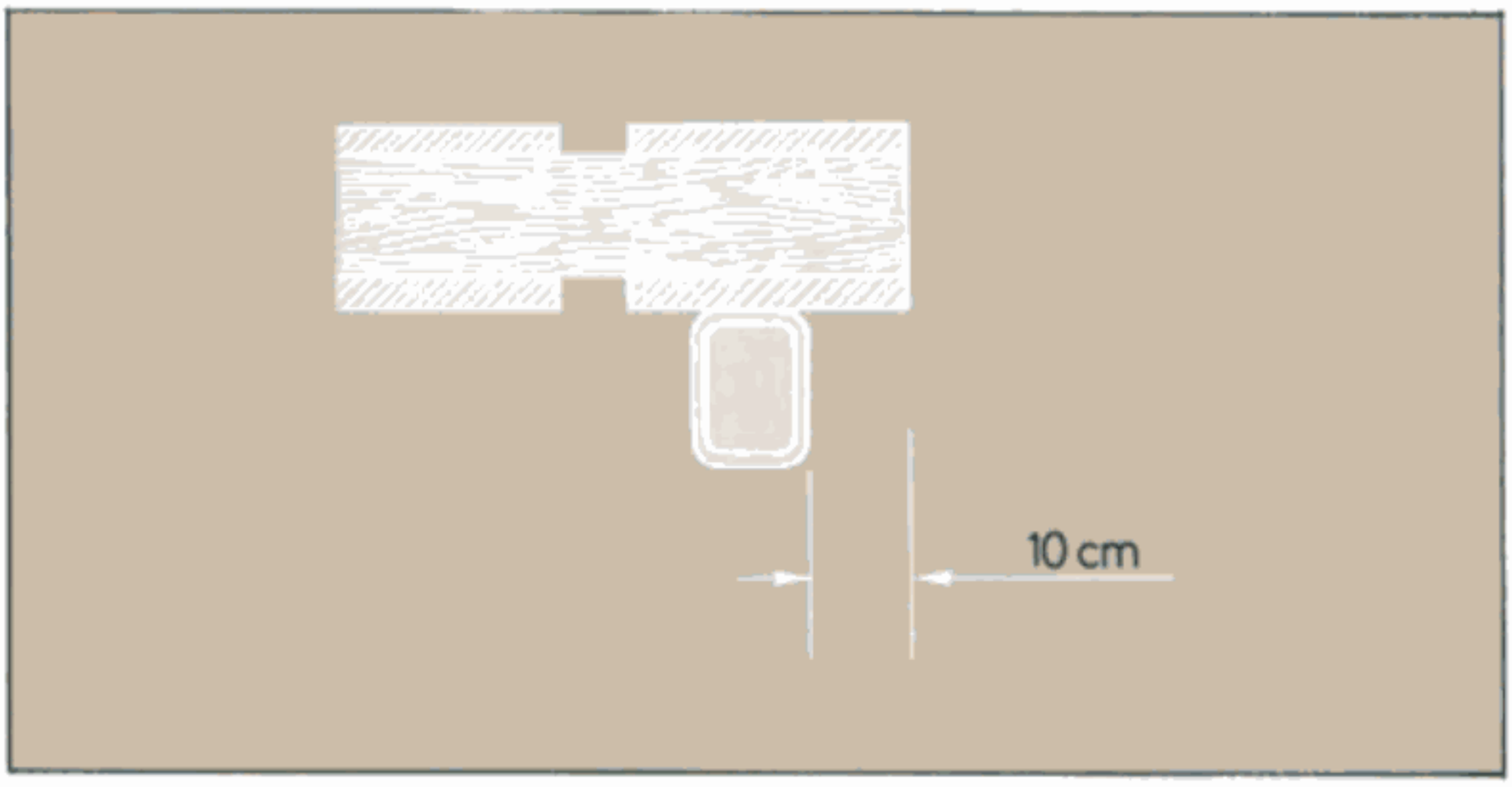
Las dos estanterías de cada bloque están unidas por su parte posterior por separadores (que también se colocan en las estanterías adosadas a las paredes) para aumentar la rigidez de la instalación y dejar una cierta luz entre las unidades de carga, que en el fondo acostumbra a ser de 50 a 100 mm.

El ancho de los entrepaños (distancia frontal entre los montantes verticales) ha de preverse de modo que entre las unidades de carga y entre éstas y los montantes quede una holgura de 100 mm. Es decir, que si queremos colocar en cada estante dos paletas de 1000 mm de frente, el entrepaño será de

$$100 + 1000 + 100 + 1000 + 100 = 2300 \text{ mm}$$

Si las unidades de carga son muy ligeras, la solución más económica es colocar tres por estante; si son muy pesadas la mejor es colocar una en cada entrepaño.

Figura 128. Colocación de la paleta en la estantería.



A su vez, la altura del entrepaño será la de la unidad de carga más alta (incluida la paleta) más 200 mm, necesarios para la maniobra de introducción o retirada de la carga.

Normalmente, la profundidad de la estantería es menor que la de la paleta a fin de que una vez colocada ésta "vuele" unos 100 mm delante y otros 100 mm detrás (figura 128). Con esto se consigue facilitar la operación de colocación de las paletas, pues no debe precisarse tanto como si debieran dejarse enrasadas con los largueros, aparte de que un error de apreciación, sobre todo a cierta altura, podría provocar la caída del material.

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

En consecuencia, el ancho de los pasillos debe medirse entre paletas y no entre estanterías. Es decir, el pasillo útil es igual al ancho entre estanterías menos 200 mm. Una vez conocida la carretilla que se va a utilizar (en función del peso a manipular), este pasillo ha de ser igual al radio de giro exterior de la máquina con la paleta, incrementado en 200 mm que es la holgura necesaria para las maniobras.

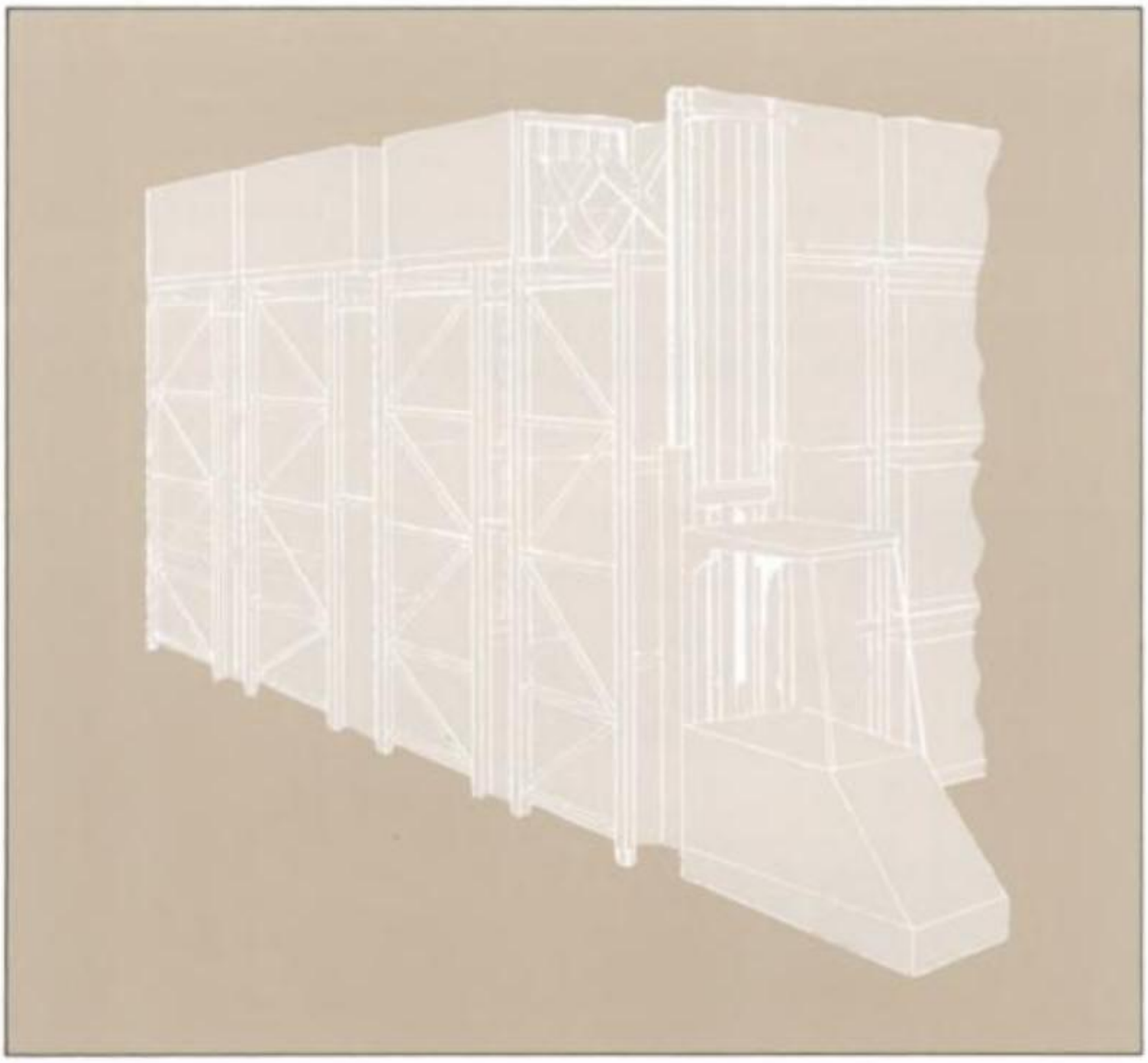


Figura 129. Estantería doble para paletas, que exige que la carretilla vaya provista de un accesorio extensor a pantógrafo.

Estantería a doble fila

Una variante de la anterior estantería es la doble (figura 129) que es de aplicación cuando de un mismo producto hay más de una unidad de carga, como puede ser el caso en un almacén de bebidas, de libros, de papel.

Tiene la ventaja de que se reduce el espacio destinado a pasillos a la mitad, pero tiene sus inconvenientes: es necesario equipar la carretilla elevadora con un accesorio extensor a pantógrafo, como el de la figura 112, (que tiene un costo), lo que exigirá una máquina de mayor capacidad (más cara), lo que a su vez exigirá un pasillo más ancho (reduciendo aquella primera ventaja). Debe analizarse en cada caso qué es finalmente lo mejor.

Estantería compacta

Cuando es necesario el almacenaje de grandes cantidades de uno o varios materiales, por ejemplo en los almacenes centrales de las fábricas de

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

bebidas carbónicas, cervezas, vinos, agua, etc., pueden ser de aplicación este tipo de estanterías (figura 130) en las que desaparecen los pasillos de estibado, siendo sólo precisos los de circulación.

En estas estanterías, la carretilla debe entrar con la paleta elevada a la altura de almacenamiento y circular "en túnel", entre los montantes, hasta el fondo libre, depositando entonces la carga en los estribos fijos a dichos montantes. Contrariamente al apilado sin estanterías, aquí las paletas deben empezarse a depositar en el piso *más alto*, pues si está lleno el piso tercero, por ejemplo, en imposible pasar con la carretilla y la carga elevada a nivel del piso cuarto. Lógicamente, todas las paletas de un mismo "túnel" han de ser de la misma mercancía.

Aunque la carga puede hacerse por un extremo y la descarga por el otro, este proceso puede reducir notablemente la capacidad media de almacenaje, por lo que debe planearse muy bien el movimiento. Piénsese que si dos carretillas retiran mercancías, cada una de un túnel, al llegar a la mitad la utilización en ellos es del 50% sin que se puedan cargar por el otro extremo.

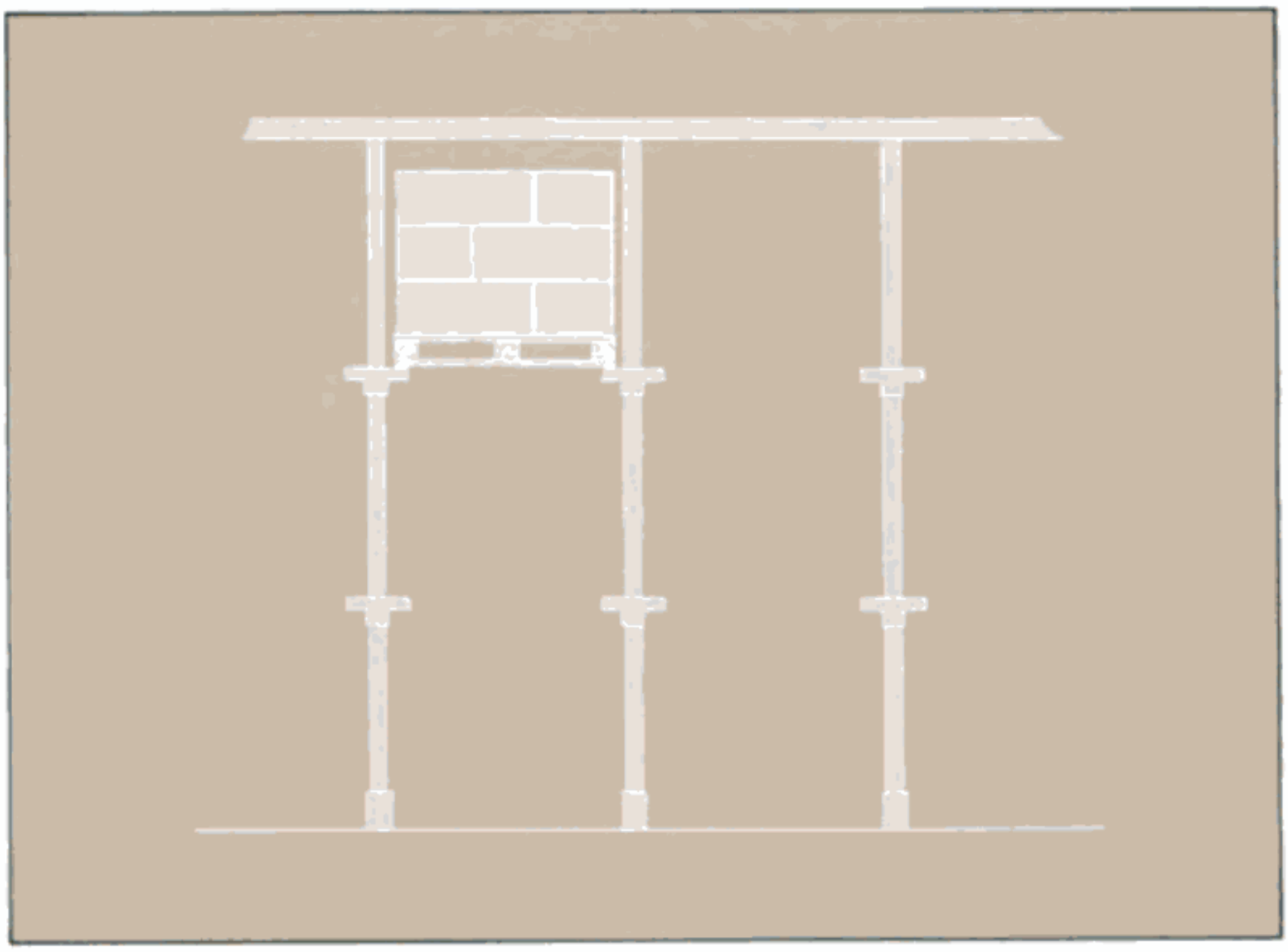


Figura 130. Estantería compacta en la que la carga se apoya en las ménsulas de que van provistos los pies derechos.

Estanterías dinámicas

Para obviar este inconveniente se han desarrollado las estanterías dinámicas (figura 131). En este caso, las estanterías se cargan exclusivamente por un extremo y las paletas se deslizan sobre rodillos, por gravedad (hay también otros diseños), hasta el otro extremo, de donde pueden ser retiradas.

Este sistema tiene tres ventajas sobre el anterior: En primer lugar que las

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

Movimientos por operación

La relación del número de movimientos que se realizan por operación productiva es un indicador general de la salud del sistema, que podemos dar en forma de quebrado. Si se estudia el movimiento de las piezas, conjuntos o procesos más importantes será suficiente para tener una visión adecuada del estado general de esa función.

El numerador es el número total de veces que una unidad de material es movida dentro de la fábrica. Este número se obtiene de observaciones reales y ha de incluir tanto los movimientos planificados como los que accidentalmente se produzcan, caídas, retrocesos o cambios, por ejemplo. En este recuento se ha de poner especial cuidado en los que se hacen en los propios puestos de trabajo y en los que se realizan al final de las líneas de producción. El denominador de la fracción es el número de operaciones productivas que se llevan a cabo en la sección en estudio.

Por *operación* entendemos el conjunto de tareas que se realizan en un mismo puesto de trabajo. Es decir, si en una máquina-herramienta cargamos una pieza y en ella se realizan sucesivamente un refrentado, un taladrado y una rosca, contabilizaremos una sola operación.

No es posible decir cuál es el ratio adecuado para una determinada empresa dado que varía en función de dos condiciones: el tipo de fabricación, si es intermitente o continua, y la disposición en planta, por posición fija, por proceso, por producto, etc. En general, podríamos decir que 3/1 o 4/1 son valores medios normales, y que, en cambio, 6/1 o 7/1 son valores evidentemente indicativos de una mala gestión del movimiento de materiales. Si el ratio es alto, será conveniente investigar qué causas motivan esta anomalía. Las más frecuentes son las siguientes:

— el control y la planificación de los movimientos del material puede haberse descuidado por lo que, en este caso, será necesario mejorar la gestión.
— la distribución en planta puede no ser la adecuada por lo que habría que estudiar su posible modificación teniendo en cuenta el movimiento de los materiales.
— la mecanización puede no ser la correcta por haber cambiado las condiciones de trabajo, por incremento de la producción o por cambio de los métodos, los procesos o la maquinaria.
— la gestión de los materiales está en manos de una persona que aplica criterios equivocados.

Manipulaciones realizadas por la mano de obra directa

Un segundo ratio que valora la eficiencia del movimiento de materiales es el cociente del tiempo perdido por el personal de producción moviendo material dividido por el tiempo total de trabajo. Esta fracción nos indicará el tiempo directo perdido por una inadecuada manipulación.

Esto nos lleva a recordar unos principios que deben observarse en los puestos de trabajo: los materiales deben llegar al operario a la altura adecuada, quedar al alcance de su mano, de manera convenientemente orientada, en cantidad suficiente y de forma continua.

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

Bibliografía

Alnor-Somia.– Encyclopedie de la manutention. Syndicat des industries de matériels de manutention, 1981

P. Falconer, J. Drury.– Almacenaje industrial. H. Blume, 1978.

J. A. Fitzsimmons, R. S. Sullivan.– Service operations management. McGraw-Hill, 1982.

R. L. Francis, J. A. White.– Facility layout and location. An analytical approach. Prentice-Hall, 1974.

H. L. Hales.– Computer-aided facilities planning. Marcel Dekker, 1984.

B. T. Lewis, J. P. Marron.– Facilities and plant engineering hadbook. McGraw-Hill, 1973.

H. B. Maynard.– Manual de ingeniería y organización industrial. Reverté, 1985.

R. Muther.– Planificación y proyección de la empresa industrial (método SLP). Editores Técnicos Asociados, 1968.

R. Muther.– Distribución en planta. Hispano Europea, 1981.

O.I.T.– Inteoducción al estudio del trabajo O.I.T., 1983.

V. Ripoll.– Manual técnico de carretillas elevadoras. Ediciones JS, 1990.

R. J. Tersine.– Production/Operations management. North-Holland, 1985.

Copyrighted material

www.mundoindustrial.net

Localización, distribución en planta y manutención

El diseño de sistemas productivos es un proceso complejo que implica conocimientos económicos, técnicos y de gestión. Dos aspectos importantes de este proceso de diseño son las decisiones de localización y de distribución en planta.

Las primeras pueden tener muy diversa envergadura, según cual sea el elemento que se trate de localizar, pero si este es una planta de producción o un almacén de distribución, su localización tiene importantes implicaciones en la estrategia de la empresa.

En una decisión de localización, los costes de transporte siempre juegan un papel más o menos importante y han de ser evaluados, pero no son el único criterio a tener en cuenta.

Aunque la distribución en planta es, en el fondo, un problema de localización múltiple, el número de elementos a localizar, su interacción y la variedad de puntos de vista que deben ser tenidos en cuenta (desde el estético al económico o desde la seguridad hasta la imagen comercial de la empresa) le dan carácter específico y, en general, gran dificultad. De ahí la importancia de seguir un método para el estudio de distribuciones en planta y de disponer en cada una de sus etapas de instrumentos y técnicas para aplicarlo. Hoy en día, los ordenadores son, singularmente, uno de estos instrumentos.

En la distribución en planta, los flujos de materiales o de personas juegan un papel muy importante. De ahí la estrecha relación del planteamiento de la distribución con la selección de los medios para materializar tales flujos, con la manutención.

A la manutención corresponde siempre una parte considerable de la inversión en una planta industrial o en un almacén y de sus costes de funcionamiento. El contenido de este libro responde a estas consideraciones.

Josep María Vallhonrat Bou. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Profesor de Transportes de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona (Universitat Politècnica de Catalunya). Profesor de Organización Industrial de la Escuela de Administración de Empresas de Barcelona. Ha desarrollado su labor profesional en la empresa privada y, en los últimos años, como asesor de empresas especialmente orientado al campo de la Logística Industrial y del movimiento de materiales.

Albert Corominas Subias, es Doctor Ingeniero Industrial, Licenciado en Informática y profesor, en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona, del Departamento de Organización de Empresas de la Universidad Politécnica de Cataluña. Su actividad profesional, en la empresa privada y en la Administración, se desarrolló en las áreas de estudios económicos, organización, informática e investigación operativa. Su labor docente, investigadora y de asesoría se centra ahora en la aplicación de las técnicas cuantitativas de gestión a los problemas de organización industrial. Es autor de diversos libros, artículos y comunicaciones y miembro de AECFT, APICS, IIE

BOIXAREU EDITORES

marcombo

BOIXAREU EDITORES

ISBN 84-267-0814-5

Copyright material